



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SAM ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΟΥ
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΕΡΡΑΚΗ**

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ, 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SAM ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΟΥ
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΠΕΡΡΑΚΗ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγήτρια Διονυσία Κολοκοτσά
Καθηγητής Θεοχάρης Τσούτσος
Καθηγητής Μιχάλης Λαζαρίδης

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματεύεται τη μοντελοποίηση κτιρίων μέσω του προγράμματος SAM με συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Εξετάζεται η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ σε διασυνδεδεμένα κτίρια, συγκρίνονται τα συστήματα μεταξύ τους και μάλιστα διερευνάται αν η χρήση τους είναι συμφέρουσα συγκριτικά με την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο. Αρχικά, εισάγεται ο σκοπός και το αντικείμενο της εργασίας και παρατίθεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναφορική των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της.

Θεμελιώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τα συστήματά τους που εγκαθίστανται σε κτίρια. Παρουσιάζονται τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης και μέσω τεσσάρων παραδειγμάτων, δείχνονται κτίρια, τα οποία ενσωματώνουν τεχνολογίες και συστήματα ΑΠΕ, με σκοπό την παραγωγή της ενέργειας που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους. Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποια στοιχεία σχετικά με τις παγκόσμιες αλλά και εγχώριες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται από τον κτιριακό τομέα και γίνεται αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο, όπου θεσπίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την εναρμόνιση του σε εγχώριο επίπεδο, για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Παράλληλα, παρουσιάζεται η κατοικία που επιλέχθηκε για τη μοντελοποίησή της στο SAM με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ως αντιπροσωπευτική των κτιρίων και δίνονται πληροφορίες της περιοχής στην οποία βρίσκεται.

Τέλος, δείχνεται το πρόγραμμα SAM που χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση της κατοικίας. Δίνονται τα μοντέλα όπου επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα και περιγράφεται σχολαστικά η διαδικασία διαστασιολόγησης και η κάθε επιλογή που έγινε για τα συστήματα ΑΠΕ που εγκαταστάθηκαν στην κατοικία. Ακολουθούν οι προσομοιώσεις στο πρόγραμμα SAM, από τις οποίες εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και επαληθεύουν τις επιλογές που έγιναν κατά τη διαδικασία της διαστασιολόγησης. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι όλα τα συστήματα ΑΠΕ λειτουργούν ικανοποιητικά στην κατοικία μελέτης, αλλά το πιο κατάλληλο για εγκατάσταση στην προκειμένη περίπτωση είναι φωτοβολταϊκό σύστημα. Το πόρισμα που συνεπάγεται από την παρούσα μελέτη, είναι πως με την εγκατάσταση κατάλληλου συστήματος ΑΠΕ και τα κατάλληλα κριτήρια, το κάθε κτίριο έχει την δυνατότητα να παράγει την ενέργεια που χρειάζεται επιτόπου και να συμφέρει οικονομικά αυτή η επιλογή, σε σχέση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

Abstract

This thesis, discusses the modeling of buildings through the SAM software using Renewable Energy Sources systems. The installation of Renewable Energy systems in interconnected building is examined, the systems are compared with each other and even investigated whether their use is advantageous compared to the use of grid electricity. At the beginning, the purpose and the scope of the paper are introduced and a brief literature review is provided, referring to the sources used for writing the paper.

Additionally, the theoretical basis of the Renewable Energy Sources and their systems installed in building is established. Nearly Zero Energy Buildings are presented and through four examples, buildings are shown which incorporate Renewable Energy technologies and systems in order to produce energy for the fulfilment of their needs. Consequently, some data on the global and domestic carbon dioxide emissions released by the building sector are presented and there is a reference on the institutional framework, where the European Union is establishing and harmonizing it on a national level, for energy saving in buildings. At the same time, the residence selected for modeling in SAM with Renewable Energy Sources is shown as representative of the buildings and information about the area where it is built is given.

Finally, the present dissertation showcases the SAM program that was used for the modeling of the residence that was mentioned above. The models selected in the program are presented and the sizing process as well as the process of the selection for the Renewable Energy systems installed at the residence, are thoroughly described. This is followed by simulations in the SAM program, according to which noticeable conclusions can be drawn and verify the choices made during the sizing process. The results of the simulations indicate that all Renewable Energy Sources systems function effectively in the residence that is studied. However, in this case the establishment of photovoltaic system is more suitable. The conclusion implied by this study, is that with the installation of a suitable Renewable Energy system, each building has the potential to produce the energy it needs on site and that this option is economically advantageous compared to the consumption of electricity from grid.

*Το μυαλό δεν είναι ένα δοχείο που πρέπει να γεμίσει,
αλλά μία φωτιά που πρέπει να ανάψει.
~~~Πλούταρχος~~~*

# Περιεχόμενα

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Περίληψη .....                                                                          | 4         |
| Abstract .....                                                                          | 5         |
| Περιεχόμενα .....                                                                       | 7         |
| Κατάλογος Εικόνων .....                                                                 | 9         |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων .....                                                            | 10        |
| Κατάλογος Πινάκων .....                                                                 | 11        |
| Κατάλογος Συμβόλων .....                                                                | 12        |
| Κατάλογος Συντμήσεων .....                                                              | 13        |
| <b>1 Εισαγωγή .....</b>                                                                 | <b>14</b> |
| 1.1 Σκοπός Εργασίας .....                                                               | 14        |
| 1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....                                                      | 15        |
| 1.3 Δομή Εργασίας .....                                                                 | 16        |
| <b>2 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....</b>                                                       | <b>17</b> |
| 2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....                                                   | 17        |
| 2.1.1 Φωτοβολταϊκά και φωτοβολταϊκά με μπαταρία σε κατοικίες .....                      | 18        |
| 2.1.2 Μικρές ανεμογεννήτριες σε κατοικίες .....                                         | 19        |
| 2.2 Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ..... | 20        |
| 2.3 Παραδείγματα Κτιρίων και κατοικιών Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης .....          | 21        |
| 2.3.1 Κτίριο μηδενικής ενέργειας (TVZEB) στη Βιτσέντζα της Ιταλίας. ....                | 21        |
| 2.3.2 Βιοκλιματικό κτίριο γραφείων ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) .....      | 22        |
| 2.3.3 Σύγχρονη ενεργειακή κατοικία στα προάστια της Λάρισας .....                       | 22        |
| 2.3.4 Βιοκλιματική κατοικία στο Αττικό Άλσος .....                                      | 23        |
| 2.4 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κτιρίων .....                                              | 23        |
| 2.5 Θεσμικό πλαίσιο για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα .....                | 24        |
| 2.6 System Advisor Model (SAM) software .....                                           | 26        |
| 2.6.1 Πληροφορίες για το SAM .....                                                      | 26        |
| 2.6.2 Μαθηματική περιγραφή του SAM .....                                                | 27        |
| <b>3 Μεθοδολογία .....</b>                                                              | <b>32</b> |
| 3.1 Επιλογή και περιγραφή κτιρίου .....                                                 | 32        |
| 3.2 Περιγραφή περιοχής μελέτης και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά. ....                   | 34        |
| 3.3 Μοντελοποίηση του κτιρίου με ΑΠΕ στο SAM .....                                      | 37        |
| <b>4 Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM .....</b>                                  | <b>39</b> |

|          |                                                                                        |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1      | Μοντέλο 1: Φωτοβολταϊκό σύστημα .....                                                  | 39        |
| 4.2      | Μοντέλο 2: Φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία.....                                       | 44        |
| 4.3      | Μοντέλο 3: Ανεμογεννήτρια .....                                                        | 47        |
| 4.4      | Μοντέλο 4: Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος και<br>ανεμογεννήτριας.....             | 49        |
| 4.5      | Μοντέλο 5: Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία και<br>ανεμογεννήτριας..... | 51        |
| <b>5</b> | <b>Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση .....</b>                                   | <b>52</b> |
| 5.1      | Ανάλυση αποτελεσμάτων .....                                                            | 52        |
| 5.2      | Συζήτηση αποτελεσμάτων .....                                                           | 64        |
| <b>6</b> | <b>Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....</b>                          | <b>66</b> |
| 6.1      | Συμπεράσματα .....                                                                     | 66        |
| 6.2      | Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....                                                  | 67        |
| <b>7</b> | <b>Βιβλιογραφία .....</b>                                                              | <b>68</b> |
|          | <b>Παραρτήματα .....</b>                                                               | <b>70</b> |



# Κατάλογος Εικόνων

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1-1. Βιώσιμη ενέργεια.....                                                             | 14 |
| Εικόνα 2-1. Φωτοβολταϊκό σύστημα σε οροφή πολυκατοικίας. ....                                 | 18 |
| Εικόνα 2-2. Οικιακή ανεμογεννήτρια.....                                                       | 19 |
| Εικόνα 2-3. Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα. ....                | 23 |
| Εικόνα 3-1. (α) Πλάγια δεξιά όψη, (β) Πλάγια αριστερή όψη και (γ) Πίσω όψη κτιρίου.....       | 32 |
| Εικόνα 3-2. Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης (Google Earth). ....                       | 34 |
| Εικόνα 3-3. Βήματα για την μοντελοποίηση της υφιστάμενης κατοικίας με χρήση ΑΠΕ. ....         | 37 |
| Εικόνα 3-4. Οροφή κτιρίου (α) όψη. ....                                                       | 38 |
| Εικόνα 3-5. Οροφή κτιρίου (β) όψη. ....                                                       | 38 |
| Εικόνα 4-1. Περιβάλλον εργασίας SAM, Photovoltaic/Residential. ....                           | 39 |
| Εικόνα 4-2. Περιβάλλον εργασίας SAM, PV-Battery/Residential. ....                             | 44 |
| Εικόνα 4-3. Περιβάλλον εργασίας SAM, Wind/Residential ....                                    | 47 |
| Εικόνα 4-4. Περιβάλλον εργασίας SAM, Generic/Residential. ....                                | 49 |
| Εικόνα A-0-1. Κατανομή Weibull για δεδομένα ανέμου (μοντέλα με ανεμογεννήτρια).....           | 70 |
| Εικόνα A-0-2. Παράδειγμα διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος. ....                              | 70 |
| Εικόνα A-0-3. Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα μοντέλου φωτοβολταϊκού συστήματος στο SAM..... | 71 |
| Εικόνα A-0-4. Σχηματική απεικόνιση διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία (α). ....    | 71 |
| Εικόνα A-0-5. Σχηματική απεικόνιση διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία (β). ....    | 72 |
| Εικόνα A-0-6. Προσανατολισμός φωτοβολταϊκού πλαισίου. ....                                    | 72 |
| Εικόνα A-0-7. Κατεύθυνση και προσανατολισμός. ....                                            | 72 |

# Κατάλογος Διαγραμμάτων

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Διάγραμμα 3-1. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας. ....                                                   | 35 |
| Διάγραμμα 3-2. Μέσες μηνιαίες τιμές πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας. ....                                | 35 |
| Διάγραμμα 3-3. Μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου. ....                                               | 36 |
| Διάγραμμα 3-4. Μέσες μηνιαίες τιμές κατεύθυνσης ανέμου. ....                                             | 36 |
| Διάγραμμα 4-1. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 1 <sup>ης</sup> περίπτωσης. ....                    | 40 |
| Διάγραμμα 4-2. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 2 <sup>ης</sup> περίπτωσης. ....                    | 41 |
| Διάγραμμα 4-3. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 3 <sup>ης</sup> περίπτωσης. ....                    | 42 |
| Διάγραμμα 4-4. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 4 <sup>ης</sup> περίπτωσης. ....                    | 43 |
| Διάγραμμα 4-5. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                      | 45 |
| Διάγραμμα 4-6. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 4 <sup>ου</sup> και 5 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....  | 50 |
| Διάγραμμα 5-1. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 1 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 52 |
| Διάγραμμα 5-2. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 53 |
| Διάγραμμα 5-3. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 3 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 53 |
| Διάγραμμα 5-4. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά. ....                    | 54 |
| Διάγραμμα 5-5. Ισοζύγιο ενέργειας στο 1 <sup>ο</sup> μοντέλο. ....                                       | 55 |
| Διάγραμμα 5-6. Ισοζύγιο ενέργειας στο 2 <sup>ο</sup> μοντέλο. ....                                       | 55 |
| Διάγραμμα 5-7. Ισοζύγιο ενέργειας στο 3 <sup>ο</sup> μοντέλο. ....                                       | 56 |
| Διάγραμμα 5-8. Ισοζύγιο ενέργειας μοντέλων συγκεντρωτικά. ....                                           | 56 |
| Διάγραμμα 5-9. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 1 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....  | 57 |
| Διάγραμμα 5-10. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 57 |
| Διάγραμμα 5-11. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 3 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 58 |
| Διάγραμμα 5-12. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά. ....                    | 58 |
| Διάγραμμα 5-13. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (1 <sup>ο</sup> μοντέλο). ....             | 60 |
| Διάγραμμα 5-14. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (2 <sup>ο</sup> μοντέλο). ....             | 60 |
| Διάγραμμα 5-15. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (3 <sup>ο</sup> μοντέλο). ....             | 61 |
| Διάγραμμα 5-16. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας συγκεντρωτικά. ....                        | 61 |
| Διάγραμμα 5-17. Αντικατάσταση μπαταριών 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                   | 63 |

## Κατάλογος Πινάκων

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 3-1. Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και ποσά πληρωμής. ....                                                            | 33 |
| Πίνακας 3-2. Διεργασίες στην κατοικία που έχουν απαίτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα. ....                                                 | 33 |
| Πίνακας 3-3. Μοντέλα που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα. ....                                                                          | 37 |
| Πίνακας 4-1. Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών πλαισίων 1 <sup>ης</sup> και 2 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 1 <sup>ου</sup> μοντέλου. .... | 40 |
| Πίνακας 4-2. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 3 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 1 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                     | 41 |
| Πίνακας 4-3. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 4 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 1 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                     | 42 |
| Πίνακας 4-4. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                                 | 44 |
| Πίνακας 4-5. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 1 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                  | 45 |
| Πίνακας 4-6. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 2 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 2 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                  | 46 |
| Πίνακας 4-7. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 1 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 3 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                            | 47 |
| Πίνακας 4-8. Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών 2 <sup>ης</sup> περίπτωσης, 3 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                            | 48 |
| Πίνακας 4-9. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 4 <sup>ου</sup> και 5 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                             | 49 |
| Πίνακας 4-10. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 4 <sup>ου</sup> και 5 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                   | 50 |
| Πίνακας 4-11. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 5 <sup>ου</sup> μοντέλου. ....                                                             | 51 |
| Πίνακας 5-1. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων. ....                                                             | 54 |
| Πίνακας 5-2. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά. ....                                                | 59 |
| Πίνακας 5-3. Ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων από τα συστήματα ΑΠΕ των μοντέλων. ....                                                 | 62 |
| Πίνακας 5-4. Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων. ....                                                                                | 63 |

# Κατάλογος Συμβόλων

(Για τα βασικότερα σύμβολα, με τη σειρά που αυτά συναντώνται στο κείμενο)

|             |                                                                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G$         | Παγκόσμια αποτελεσματική ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.                   |
| $G_b$       | Ακτινοβολία δέσμης                                                                                |
| $G_d$       | Διάχυτη ακτινοβολία                                                                               |
| $G_r$       | Ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία                                                              |
| $I_{sc}$    | Ρεύμα βραχυκύκλωσης                                                                               |
| $R_{s,ref}$ | Αντίσταση σειράς                                                                                  |
| $R_{sh}$    | Αντίσταση διακλάδωσης                                                                             |
| $V_{dc}$    | Τάση Φ/Β πλαισίων                                                                                 |
| $C_i$       | Συνολική ισχύς αντιστροφεία                                                                       |
| $P_{mp}$    | Ονομαστική ισχύς Φ/Β πλαισίων                                                                     |
| $A_{tot}$   | Συνολική επιφάνεια Φ/Β πλαισίων                                                                   |
| $B_c$       | Ονομαστική χωρητικότητα μπαταρίας                                                                 |
| $T_b$       | Χρόνος μέγιστης ισχύος                                                                            |
| $M_b$       | Μάζα μπαταρίας                                                                                    |
| $E_m$       | Ειδική ενέργεια ανά μάζα                                                                          |
| $\Lambda$   | Συντελεστής δυναμικότητας συστήματος                                                              |
| $Y$         | Ενεργειακή απόδοση                                                                                |
| $V_h$       | Ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης                                                              |
| $\lambda_h$ | Παράμετρος κατανομής Weibull στο ύψος της πλήμνης $h$                                             |
| $K$         | Συντελεστής Weibull                                                                               |
| $F(V_i)$    | Σωρευτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας Weibull για την ταχύτητα του ανέμου                     |
| $P_i$       | Συμβολή της ταχύτητας του ανέμου $V_i$ στη συνολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή της ανεμογεννήτριας |
| $Q_{wf}$    | Ετήσια παραγωγή ενέργειας μίας ανεμογεννήτριας                                                    |
| $P_{wf,j}$  | Ηλεκτρική παραγωγή ανεμογεννήτριας σε χρόνο $j$                                                   |
| $Q_{sys}$   | Προσαρμοσμένη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αιολικού συστήματος                            |
| $F_{adj,j}$ | Συντελεστής ωριαίας προσαρμογής                                                                   |

## Κατάλογος Συντμήσεων

|         |                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------|
| CRES    | Center for Renewable Energy Sources and Saving           |
| ESCOs   | Energy Service Companies                                 |
| NREL    | National Renewable Energy Laboratory                     |
| NSRDB   | National Solar Radiation Database                        |
| PPA     | Power Purchase Agreement                                 |
| SAM     | System Advisor Model                                     |
| ΑΠΕ     | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας                              |
| ΕΕ      | Ευρωπαϊκή Ένωση                                          |
| ΕΛΕΤΑΕΝ | Ελληνική Επισημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας            |
| ΕΣΔΕΑ   | Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων          |
| ΚΑΠΕ    | Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας     |
| ΚΜΕΚ    | Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης                 |
| Περ.    | Περίπτωση                                                |
| ΦΕΚ     | Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης                          |
| Φ/Β     | Φωτοβολταϊκό                                             |
| Φ/Σ     | Φωτοβολταϊκό Σύστημα                                     |
| Σ.Η.Θ   | Συστήματα συμπαραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας |

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός Εργασίας

Με το πέρας του χρόνου και την ανάπτυξη της επιστήμης, νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται και γίνονται αναγκαίες για τον άνθρωπο. Καθώς τα ορυκτά καύσιμα λιγοστεύουν και η ανάγκη για ενέργεια συνεχώς αυξάνεται, η εύρεση νέων εναλλακτικών λύσεων παραγωγής ενέργειας έγινε απαραίτητη. Εναλλακτικές λύσεις περισσότερο βιώσιμες, λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον και χωρίς να εξαρτιούνται άμεσα από τα ορυκτά καύσιμα. Έτσι, για τη διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, οι λύσεις που αναφέρονται είναι τεχνολογίες και συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ο ρόλος αυτών των συστημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικός και πλέον αναγνωρίζεται σε παγκόσμια κλίμακα.



**Εικόνα 1-1. Βιώσιμη ενέργεια.**

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία καλούμαστε να ενσωματώσουμε συστήματα ΑΠΕ σε διασυνδεδεμένα κτίρια, με σκοπό να επιτευχθεί η ενεργειακή τους επάρκεια από αυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, την βιωσιμότητα των κτιρίων, τη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού τους και τη μείωση της εξάρτησης τους από αναξιόπιστες αγορές ορυκτών καυσίμων, καθώς και πολύ μεγάλες μειώσεις στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού τους ρεύματος.

Είναι καταφανής η ανάγκη για συστήματα ΑΠΕ σε όλους τους τομείς παραγωγής ενέργειας, κάτι που μαγνητίζει την προσοχή όλο και περισσότερων ερευνητών. Η παρούσα εργασία είναι στραμμένη προς αυτήν την κατεύθυνση, δηλαδή την μοντελοποίηση διασυνδεδεμένων κτιρίων μέσω του προγράμματος SAM (System Advisor Model), με ενσωματωμένα συστήματα ΑΠΕ για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

## 1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, που αφορά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τα συστήματά τους για εφαρμογή σε κτίρια, τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης, την νομοθεσία που υπάρχει γύρω από το αντικείμενο, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τον κτιριακό τομέα, το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία (SAM software), καθώς και γενικότερες πληροφορίες επί του εξεταζόμενου θέματος.

Γενικά υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφίας που πραγματεύεται κάθε πτυχή των συστημάτων ΑΠΕ όπως τις βέλτιστες συνθήκες για την καλύτερη λειτουργία και απόδοση τους, τα υλικά κατασκευής τους, κ.λπ. Η θεωρία για τα συστήματα ΑΠΕ που εγκαθίστανται σε κτίρια θεμελιώνεται σε διάφορα επιστημονικά άρθρα όπως είναι αυτό των (Zhang κ.α., 2022) και του (Δρής, 1966). Κάποια επίσης σημαντικά άρθρα, πιο εξειδικευμένα για μηχανικούς, είναι αυτά των (Qiran Cai κ.α., 2022) και (Λάζαρη Ε., 2002).

Θεωρία και σημαντικές πληροφορίες για τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης μπορεί κανείς να βρεί στην (Κολοκοτσά, 2010), καθώς και στον (Κοσμόπουλος, 2017). Επίσης σημαντική πηγή για τα ΚΜΕΚ σε διεθνές επίπεδο είναι οι (Jaysawal κ.α., 2022). Συγκεκριμένα παραδείγματα ΚΜΕΚ τα οποία έχουν εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ για την παραγωγή της ενέργειας που καταναλώνουν, βρίσκουμε στην ιστοσελίδα του ΚΑΠΕ (cres, 2002) και στους (Λάζαρη Ε., 2002). Παράλληλα, στην παρούσα εργασία ένα από τα παραδείγματα κτιρίων μηδενικής ενέργειας είναι το TVZEB στην Ιταλία, πληροφορίες για το οποίο αντλήθηκαν από (ArchDaily, 2022). Οι αναλυτικές προδιαγραφές για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων φαίνονται στο (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1, 2017).

Πληροφορίες για το Περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιρίων, καθώς και στατιστικά στοιχεία για τις εκπομπές άνθρακα που εκλύονται από τον κτιριακό τομέα κατά τον κύκλο ζωής του, αντλήθηκαν από τους (Sinha κ.α., 2016), (Vares κ.α., 2019), (Khan κ.α., 2022).

Αναφορικά με τη νομοθεσία γύρω από τα συστήματα ΑΠΕ, την εγκατάστασή τους σε κτίρια, καθώς και το θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, υπάρχουν αρκετές Ευρωπαϊκές Οδηγίες και η εναρμόνισή τους σε εθνικό επίπεδο και πληθώρα ΦΕΚ.

Τέλος, όσον αφορά τις πληροφορίες για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική για την μοντελοποίηση της κατοικίας με εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ, συγκεντρώθηκαν από τους (Blair κ.α., 2018) και τα μετεωρολογικά δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα δόθηκαν από την βάση δεδομένων (NSRDB, 2022). Παράλληλα η μαθηματική περιγραφή του προγράμματος στηρίζεται στις πηγές (DiOrio κ.α., 2015), (Freeman κ.α., 2014) και (Gilman, 2015).

### 1.3 Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε 7 συνολικά κεφάλαια το περιεχόμενο των οποίων έχει ως εξής.

Στο Κεφάλαιο 1 εισάγεται ο σκοπός και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας και παρατίθεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση, σχετική με το αντικείμενο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της εφαρμογής τους σε Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης, αλλά και κανονικά υφιστάμενα κτίρια και τη διεθνή έρευνα πάνω στην υλοποίηση συστημάτων ΑΠΕ.

Στο Κεφάλαιο 2 θεμελιώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τις μεθόδους εφαρμογής τους σε κτίρια. Παρουσιάζονται τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης και παραδείγματα αυτών σε παγκόσμιο και εγχώριο επίπεδο. Γίνεται αναφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιρίων, στις εκπομπές άνθρακα που εκλύονται κατά τον κύκλο ζωής τους, κατά την φάση κατασκευής, λειτουργίας και κατεδάφισης τους. Στην συνέχεια του κεφαλαίου παρατίθεται η θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και συνοψίζεται η εξέλιξη και η θέσπιση της διεθνούς και εγχώριας νομοθεσίας σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και την εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ σε αυτά. Έπειτα, δείχνεται το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην προκείμενη εργασία, SAM software, για την μοντελοποίηση της κατοικίας και γίνεται εκτενής μαθηματική περιγραφή του προγράμματος.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η μεθοδολογία, η οποία ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αρχικά περιγράφεται το κτίριο στο οποίο εντάσσεται η κατοικία που μελετάται και δίνονται τα χαρακτηριστικά του, στη συνέχεια περιγράφεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατοικία μελέτης και δίνονται τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της. Τέλος, φαίνεται ο τρόπος μοντελοποίησης της εν λόγω κατοικίας στο πρόγραμμα.

Το Κεφάλαιο 4 χωρίζεται σε 5 υποκεφάλαια, όσα και τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα. Το κάθε μοντέλο είναι για μια ορισμένη μελέτη περίπτωσης συστήματος ΑΠΕ εγκαθιστάμενο στο κτίριο. Παρουσιάζεται η αναλυτική διαδικασία σχεδιασμού των συστημάτων, η διαστασιολόγησή τους καθώς και η επιλογή των χαρακτηριστικών τους.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που έγιναν στο πρόγραμμα με τη μορφή διαγραμμάτων και πινάκων. Στην συνέχεια γίνεται ο κριτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων αυτών, συγκρίνονται τα ευρήματα της εργασίας με βιβλιογραφικά δεδομένα, αλλά και παρατίθενται οι μεθοδολογικές αδυναμίες της μοντελοποίησης που έγινε.

Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις στα μοντέλα με τα συστήματα ΑΠΕ και προτείνονται ιδέες για μελλοντική εργασία, η οποία ενδέχεται να ακολουθήσει ως συνέχεια των πορισμάτων που προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 δίνονται όλες οι βιβλιογραφικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της εργασίας.



## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι οι πηγές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διεργασίες που διαρκούν συνεχώς, όπως ο ήλιος, ο αέρας, τα κύματα και η βιομάζα. Αυτές οι πηγές ενέργειας ανανεώνονται διαρκώς και δεν εξαντλούνται, αντίθετα με τις πηγές ενέργειας που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Μερικά από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των ΑΠΕ σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας είναι το πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον, καθώς δεν παράγουν αέρια θερμοκηπίου και δεν απελευθερώνουν ρύπους στην ατμόσφαιρα. Επίσης, η χρήση τους είναι πιο βιώσιμη στο μακροπρόθεσμο, καθώς δεν υπάρχει κίνδυνος εξάντλησης τους. (Δρής, 1966) Ακόμα και στα πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (ΚΜΕΚ) απαιτείται επιπλέον ενέργεια για να καλυφθούν οι ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Τις ανάγκες αυτές τα ΚΜΕΚ τις καλύπτουν με ΑΠΕ. Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Ο ήλιος – ηλιακή ενέργεια

Είναι ανεξάντλητη και δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με ρύπους. Η αξιοποίηση της γίνεται με Ενεργητικά ή Παθητικά Ηλιακά Συστήματα. Τα Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα αποτελούνται από ηλιακούς συλλέκτες που παγιδεύουν την ηλιακή ακτινοβολία ή φωτοβολταϊκά συστήματα που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές χρήσεις. Στα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα δεν γίνεται χρήση κάποιας τεχνολογίας, αλλά εκμεταλλεύεται η ηλιακή ενέργεια, χάρη στον ειδικό σχεδιασμό του κτιρίου.

- Ο άνεμος – αιολική ενέργεια

Είναι η κινητική ενέργεια του ανέμου που δημιουργείται με τη μετακίνηση προς τα πάνω των αέριων μαζών που θερμαίνονται από τον ήλιο, ενώ τη θέση τους παίρνουν άλλες πιο ψυχρές αέριες μάζες. Υπάρχουν τόσο Ενεργητικά, όσο και Παθητικά Συστήματα που λειτουργούν με αιολική ενέργεια. Τα Ενεργητικά Συστήματα εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια κυρίως με ανεμογεννήτριες που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Παθητικά συστήματα απορρίπτουν την εσωτερική θερμότητα στο εξωτερικό περιβάλλον και παρέχεται φυσικός δροσισμός. Πρόκειται για τις σύγχρονες αιολικές καμινάδες και τους παραδοσιακούς ανεμόπυργους.

- Γεωθερμία – γεωθερμική ενέργεια

Πρόκειται για την θερμική ενέργεια που υπάρχει κάτω από την επιφάνεια της γης και μπορεί να φτάνει τους 350°C. Με χρήση κατάλληλων συστημάτων και τεχνολογίας, είναι εφικτό να θερμανθούν ή ψυχθούν κτίρια πολύ οικονομικά.

- Υδραυλική ενέργεια – θάλασσες

Παράγεται από την πτώση του νερού όταν η αξιοποίησή της γίνεται με υδροηλεκτρικά έργα. Επίσης είναι η ενέργεια που παρέχεται από τα κύματα και την παλίρροια, μέσω κατάλληλων συστημάτων.

- Η βιομάζα και τα παράγωγά της (Βιοκαύσιμα)

Τα Βιοκαύσιμα προέρχονται από τη βιομάζα και βρίσκουν χρήση από την αρχαιότητα, υπό μορφή ξύλου, μέχρι και σήμερα για τη θέρμανση κατοικιών, μαγείρεμα κ.λπ. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοκαύσιμο εκτός από το ξύλο, είναι τα οικιακά, γεωργικά (π.χ. πυρήνας ελιάς) και βιομηχανικά απόβλητα, η αλκοόλη, κ.λπ.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, οι τεχνολογίες Ανανεώσιμης Ενέργειας που εγκαταστάθηκαν στην οροφή του κτιρίου, είναι φωτοβολταϊκά και φωτοβολταϊκά με μπαταρία, μικρή ανεμογεννήτρια καθώς και ο συνδυασμός των συστημάτων αυτών.

### 2.1.1 Φωτοβολταϊκά και φωτοβολταϊκά με μπαταρία σε κατοικίες



**Εικόνα 2-1. Φωτοβολταϊκό σύστημα σε οροφή πολυκατοικίας.**

Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών κυψελών. Τα συστήματα αυτά συνήθως αποτελούνται από πολλαπλά φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία παράγουν την απαιτούμενη ισχύ. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών σε κατοικίες γίνεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας την οποία έχει ανάγκη το νοικοκυριό.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετούνται είτε στη στέγη της κατοικίας, είτε σε κατάλληλες επιφάνειες πλησίον της. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται απευθείας από το κτίριο, εναλλακτικά υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της σε μπαταρίες για μελλοντική χρήση. Εάν το σύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνεται, η περίσσεια ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και η κατοικία να επωφεληθεί οικονομικές ελαφρύνσεις στους λογαριασμούς της. Επιπλέον οι καταναλωτές επωφελούνται από κρατικές επιδοτήσεις, μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος εγκατάστασής τους. Ανάμεσα στα κύρια πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ότι συμβάλουν στην αειφόρο ανάπτυξη και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συντελούν σημαντικά στην μείωση του κόστους ενέργειας στο μακροπρόθεσμο της κατοικίας, είναι αξιόπιστα και απαιτούν λίγη συντήρηση, ενώ έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Ωστόσο υπάρχουν και μειονεκτήματα στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κατοικίες. Σημαντικά, είναι το υψηλό κόστος επένδυσης τους και ο χώρος που απαιτείται για

την εγκατάσταση των πάνελ. Η τοποθέτηση πάνω στην οροφή μπορεί να αυξήσει το βάρος της κατασκευής, ή ακόμα και να υπάρχουν περιορισμοί στην εγκατάσταση ανάλογα με τοπικό κανονισμό. (Zhang κ.α., 2022)

### 2.1.2 Μικρές ανεμογεννήτριες σε κατοικίες



**Εικόνα 2-2. Οικιακή ανεμογεννήτρια.**

Η αιολική ενέργεια συνδέεται με την ηλιακή ενέργεια, καθώς παράγεται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των αέριων στρωμάτων. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής κρίνεται ότι μπορεί να εκμεταλλευτεί όταν οι άνεμοι είναι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m από την επιφάνεια του εδάφους.

Στη χώρα μας, στην οποία γίνεται και η μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, υπάρχει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, φτάνοντας τα 4534MW συνολικής παραγωγής ισχύος από αιολική ενέργεια το τελευταίο έτος, σύμφωνα με τα στατιστικά της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας. (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022) Η παραγωγή αιολικής ενέργειας γίνεται από αιολικές μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες διαιρούνται σε δύο κατηγορίες. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, οι οποίες είναι και οι πιο διαδεδομένες, όπου ο δρομέας τους είναι έλικας και ο άξονάς τους περιστρέφεται σε παράλληλη κατεύθυνση με τον άνεμο, και ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο άξονας των οποίων δεν περιστρέφεται.

Η εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας σε κατοικία μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και σε περίπτωση που η παραγωγή ενέργειας ξεπερνά την κατανάλωση, η περίσσεια ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο. Συνήθως οι οικιακές ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται είτε στην οροφή της κατοικίας, είτε σε χώρο δίπλα σε αυτή, με κύριο κριτήριο την επάρκεια του ανέμου και την διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Δηλαδή την απόσταση που έχει από άλλα κτίρια, δέντρα ή οτιδήποτε άλλο εμποδίζει την ροή του ανέμου. Βασικά πλεονεκτήματα χρήσης ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες είναι ο περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος και μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, το χαμηλό κόστος λειτουργίας τους και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους (25 έτη). Επιπλέον συμβάλουν στην οικονομία, καθώς δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας.

Ενδεχόμενα αρνητικά των ανεμογεννητριών, είναι η ηχορύπανση που δημιουργείται από την λειτουργία τους, η αισθητική τους ένταξη στο περιβάλλον, η έλλειψη σταθερότητας παραγωγής ενέργειας και το κόστος συντήρησής τους. (Qiran Cai κ.α., 2022) (Κ.Α.Π.Ε., 1998)

Υπάρχουν και τα υβριδικά συστήματα, τα οποία αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πάνελ και μικρή ανεμογεννήτρια συνδυαστικά. Βρίσκουν εφαρμογή και σε κατοικίες και το βασικό τους πλεονέκτημα σε σχέση με αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα ή αυτόνομη ανεμογεννήτρια, είναι ότι εξασφαλίζεται η παραγωγή ενέργειας όταν τα φωτοβολταϊκά δεν παράγουν (νύχτα, συννεφιά) από την ανεμογεννήτρια και αντίστοιχα ενέργεια παράγεται από τα φωτοβολταϊκά όταν δεν υπάρχουν άνεμοι στην περιοχή. Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια τέτοιας ποιότητας, όπως αυτής του δικτύου.

## 2.2 Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Ένας σημαντικός παράγοντας για τεχνολογική, οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη είναι η ενέργεια. Σε αυτό οφείλεται και η αύξηση της απαίτησης της τα τελευταία χρόνια. Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και για το ένα – τρίτο από τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό κτιρίων, είναι επιτακτική ανάγκη η εύρεση τρόπων μείωσης της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει ως αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για το δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Τα ενεργειακά αυτόνομα κτίρια και τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση της εξάντλησης των διαθέσιμων πηγών ενέργειας και στην μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος.

Κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης ορίζονται τα κτίρια με σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή απαίτηση σε ενέργεια, η οποία θα πρέπει να παράγεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό, εάν όχι εξ ολοκλήρου, από ανανεώσιμες πηγές, επιτόπιες ή παρακείμενες πλησίον του κτιρίου. (Jaysawal κ.α., 2022)

Ο χαρακτηρισμός ή η κατασκευή Κτιρίων Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης καθορίζεται από τους ακόλουθους παράγοντες (Κολοκοτσά, 2010):

- Τα ακόλουθα πραγματικά θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών χωρισμάτων του):
  - i) θερμοχωρητικότητα, ii) μόνωση, iii) παθητική θέρμανση, iv) στοιχεία ψύξης και v) θερμικές γέφυρες.
- Εγκατάσταση θέρμανσης και παροχή ζεστού νερού, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών των μονώσεών τους.
- Εγκαταστάσεις κλιματισμού.
- Φυσικό και μηχανικό αερισμό, που μπορεί να περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα.
- Ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού (κυρίως στον τομέα που δεν αφορά την κατοικία).
- Σχεδιασμό, θέση και προσανατολισμό του κτιρίου, περιλαμβανομένων των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών.

- Παθητικά ηλιακά συστήματα και ηλιακή προστασία.
- Κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου στις οποίες περιλαμβάνονται οι επιδιωκόμενες συνθήκες εσωτερικού κλίματος.
- Εσωτερικά φορτία.

## 2.3 Παραδείγματα Κτιρίων και κατοικιών Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης

Στη συνέχεια του κεφαλαίου, παρουσιάζονται παραδείγματα υποδειγματικών Κτιρίων και κατοικιών Μηδενικής ή ελάχιστης Ενεργειακής Κατανάλωσης, τα οποία χρησιμοποιούν συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες.

### 2.3.1 Κτίριο μηδενικής ενέργειας (TVZEB) στη Βιτσέντζα της Ιταλίας.

Το TVZEB πρόκειται για ένα πειραματικό κτίριο μηδενικής ενέργειας, ιδέας και δημιουργίας του studio traverso-vighy αρχιτεκτονικής και του Τμήματος Τεχνικής Φυσικής του Πανεπιστημίου της Πάντοβα. Βρίσκεται σε περιοχή με πλούσια δασική κάλυψη, κοντά στην Βιτσέντζα της Ιταλίας και το εμβαδόν του συνίσταται σε 190m<sup>2</sup>. Πρωταρχικός στόχος του έργου είναι να υπάρξει υποδειγματικό μοντέλο για κτίρια μηδενικής ενέργειας, σύμφωνα με την (Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ).

Το συγκεκριμένο κτίριο τροφοδοτείται συνολικά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια), οι οποίες καταστούν το κτίριο απολύτως αυτόνομο, ακολουθώντας την (Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ) στην οποία ορίζεται ότι όλα τα νέα δημόσια κτίρια από το 2020 θα είναι μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Στην οροφή του κτιρίου έχουν εγκατασταθεί φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία καλύπτουν την ετήσια απαίτηση ενέργειας που έχει για όλες τις λειτουργίες του. Το πόσιμο νερό εξοικονομείται και δεν σπαταλάται για άρδευση του κήπου, καθώς για αυτόν τον λόγο συλλέγεται και διατίθεται το βρόχινο νερό. Επιπλέον, μέσω μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο κέντρο του κτιρίου, ελέγχεται η θερμοκρασία του αέρα και του νερού, χρησιμοποιώντας την γειτνίαση του κτιρίου με το δάσος και τις σταθερές μικροκλιματικές συνθήκες του υπεδάφους, με 40m υπόγειο σωλήνα γείωσης βάθους 1,5m. (ArchDaily, 2022)

### 2.3.2 Βιοκλιματικό κτίριο γραφείων ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας).

Το κτίριο γραφείων του ΚΑΠΕ βρίσκεται στο Πικέρμι της Ανατολικής Αττικής, εντάσσεται σε περιαστικό περιβάλλον, καταλαμβάνει εμβαδόν  $529\text{m}^2$  και εκτείνεται σε τρία επίπεδα.

Στο κτίριο έχουν εφαρμοστεί τεχνικές φυσικού δροσισμού και φωτισμού, μέθοδοι μείωσης των θερμικών απωλειών και χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων για την αύξηση των ηλιακών κερδών. Ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται 45% εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με αντίστοιχα συμβατικά κτίρια και παράλληλα υψηλό επίπεδο θερμικής άνεσης. Η ένταξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο κτίσμα είναι και το κύριο αντικείμενο της δημιουργίας του. Έχουν τοποθετηθεί φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικής ισχύος 600W στο κεκλιμένο τμήμα του κτιρίου που καλύπτει το ηλιακό αίθριο, τα οποία είναι συνδεδεμένα μέσω μετατροπέα ισχύος απευθείας στο δίκτυο του κτιρίου. Επίσης έχουν ενσωματωθεί γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού – νερού και ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα – νερού. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού – νερού συμβάλει κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν το νερό της γεώτρησης που υπάρχει στο κτίσμα διέρχεται από τον εξατμιστή της γεωθερμικής αντλίας νερού – νερού και δίνει στον ψυκτικό κύκλο την θερμότητά του. Η ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα – νερού καλύπτει το φορτίο του πρώτου ορόφου και αντίστοιχα στο υπόγειο του κτιρίου έχουν εγκατασταθεί δύο αντλίες θερμότητας αέρα – αέρα ημικεντρικού τύπου. Ολόκληρη η παρακολούθηση και καταγραφή της συμπεριφοράς των συστημάτων που τοποθετήθηκαν στο κτίριο, οι συνθήκες άνεσης που επικρατούν σε αυτό, καθώς και οι ηλεκτρικές καταναλώσεις που υπάρχουν, διαχειρίζονται από Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίου (BEMS). (cres, 2002)

### 2.3.3 Σύγχρονη ενεργειακή κατοικία στα προάστια της Λάρισας.

Η κατοικία για την οποία γίνεται λόγος αποτελεί μία τριώροφη κατοικία επιφάνειας  $321,6\text{m}^2$  και έτους κατασκευής 1995, η οποία βρίσκεται στα προάστια της Λάρισας. Στο κτίριο παρουσιάζονται διάφορες βιοκλιματικές εφαρμογές και παθητικά συστήματα.

Μια από τις εφαρμογές είναι οι ηλιακοί τοίχοι (τοίχοι Trombe και θερμοσιφωνικά πανέλα). Οι τοίχοι Trombe αερίζονται, οπότε επιτυγχάνεται φυσικός δροσισμός. Τα θερμοσιφωνικά πανέλα χρησιμοποιούνται για θέρμανση του καθιστικού στο πρώτο επίπεδο. Η συνεισφορά των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι σημαντική στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και μέσα από μετρήσεις στην κατοικία προκύπτει ότι λειτουργούν ικανοποιητικά. Οι ηλιακοί τοίχοι επιτυγχάνουν 14% εξοικονόμηση ενέργειας από τη θέρμανση, ενώ δεν υπάρχει ενεργειακή απαίτηση για ψύξη λόγω του φυσικού αερισμού.

Σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην κατοικία προέκυψε ότι, κατά την χειμερινή περίοδο για τη θέρμανση του χώρου τα παθητικά συστήματα αρκούν και η συνεισφορά από το βοηθητικό σύστημα θέρμανσης είναι ελάχιστη έως και μηδενική. Κατά την φθινοπωρινή περίοδο η θερμοκρασία εντός της κατοικίας ήταν εντός των ορίων θερμικής άνεσης, σταθερά πάνω από τους  $20^{\circ}\text{C}$ , χωρίς την συνεισφορά του συστήματος βοηθητικής θέρμανσης, ακόμα και τις ημέρες που η ακτινοβολία ήταν χαμηλή. Την θερινή περίοδο οι θερμοκρασίες διατηρούνται εντός ορίων στο εσωτερικό της κατοικίας, λόγω του νυχτερινού αερισμού. (cres, 2002)

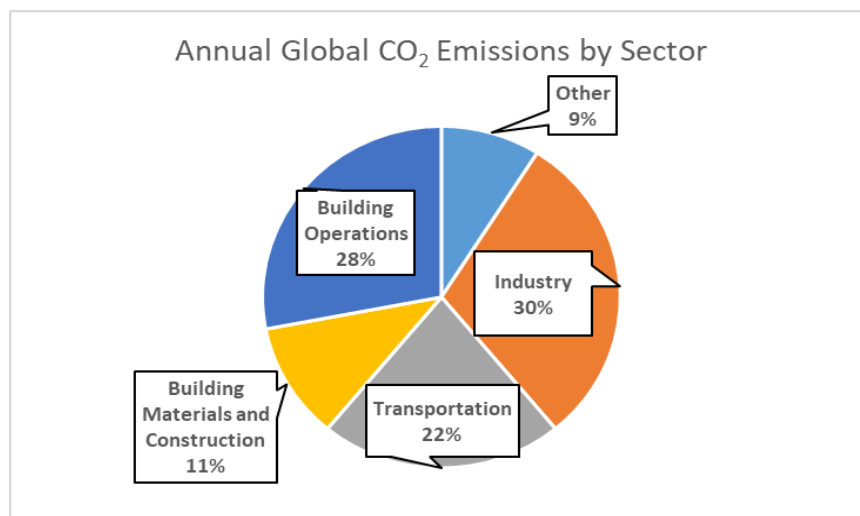
### 2.3.4 Βιοκλιματική κατοικία στο Αττικό Άλσος.

Σπουδαίο παράδειγμα βιοκλιματικής κατοικίας στην Ελλάδα είναι η κατοικία – γραφείο του Αρχιτέκτονα Μ. Σουβαϊτζή στο Αττικό Άλσος Αθηνών.

Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι χτισμένη σε επίπεδα (πέντε ορόφους) και το διαμέρισμα που περιγράφεται έχει επιφάνεια 159,4m<sup>2</sup>. Το κτίριο λόγω της κατασκευής του επιτρέπει με φυσικό τρόπο να προστατεύεται από καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες. Ο νοτιοανατολικός προσανατολισμός του κτιρίου, η κάλυψή του εξωτερικά με οριζόντιες περσίδες ενώ εσωτερικά με κατακόρυφες, του επιτρέπουν να φωτίζεται και να αερίζεται επαρκώς. Σε αυτό συμβάλουν επίσης και μικροί ανεμιστήρες, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί για την απαγωγή του ζεστού αέρα από τα ανώτερα επίπεδα. Η ψύξη και η θέρμανση της κατοικίας επιτυγχάνεται μέσω ηλιακών πάνελ, τα οποία έχουν τοποθετηθεί στην ταράτσα του κτιρίου, αλλά και μέσω των περσιδωτών σκιάστρων.

Με αυτόν τον τρόπο από το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου προκύπτει ότι τα ηλιακά κέρδη αποτελούν το 54% των θερμικών κερδών συνολικά, ενώ το 31% καλύπτεται από την βοηθητική θέρμανση. Ο καλοκαιρινός δροσισμός και γενικότερα η θερμική απόδοση του κτιρίου συγκριτικά με αντίστοιχα συμβατικά κτίρια, είναι αποδοτικότερη και οικονομικότερη. (Λάζαρη Ε., 2002)

## 2.4 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κτιρίων



Εικόνα 2-3. Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα μπορεί να οριστεί ως ένα μέτρο του αντίκτυπου που έχουν οι δραστηριότητες του ανθρώπου στο φυσικό περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων και της παραγωγής αποβλήτων και ρύπανσης.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της εργασίας, υπολογίζεται ότι τα κτίρια ευθύνονται για το 40% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, ο κτιριακός τομέας χρησιμοποιεί το 36% της συνολικής ενέργειας και ευθύνεται περίπου για το 45% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Κοσμόπουλος, 2017).

Ο κύκλος ζωής των κτιρίων χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη. Την κατασκευή του, την φάση χρήσης – λειτουργίας του και την κατεδάφισή του. Η κατασκευή, η λειτουργία και η κατεδάφιση των κτιρίων έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αλλά αυτές μπορούν να μειωθούν σημαντικά μέσω της κατάλληλης επιλογής δομικών υλικών, ενεργειακών συστημάτων και κατάλληλου σχεδιασμού.

Σύμφωνα με μελέτες το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κτιρίου είναι κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, εφόσον καλύπτει ενεργειακές ανάγκες για ηλεκτρισμό, θέρμανση και ψύξη. Εκτιμάται ότι από το 40% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των κτιρίων, το 28% αφορά τις παραπάνω λειτουργικές ανάγκες. (Sinha κ.α., 2016)

Ένα από τα θεμελιώδη μέτρα για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα από τα κτίρια, είναι η βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Τα κτίρια κατά την φάση λειτουργίας τους απαιτούν ενέργεια – ηλεκτρισμό για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Η ενσωμάτωση ΑΠΕ σε κτίρια για την κάλυψη αυτών των αναγκών, παύει τις άμεσες εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου (όπως το διοξείδιο του άνθρακα), καθώς η ενέργεια που χρειάζονται δεν παράγεται από καύση ορυκτών καυσίμων. Οι μόνες εκπομπές που προκύπτουν είναι από την κατασκευή, τη μεταφορά και την εγκατάσταση των συστημάτων ΑΠΕ, οι οποίες είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με αυτές που σχετίζονται με τα ορυκτά καύσιμα. (Vares κ.α., 2019), (Khan κ.α., 2022)

## 2.5 Θεσμικό πλαίσιο για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση στον κτιριακό τομέα υπάρχει μεγάλη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, που μπορεί να συμβάλει στην πραγματοποίηση των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο, για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Έτσι, από το 1970 και έπειτα, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μέτρα και πρωτοβουλίες για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Σημαντικό ήταν το «Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Κλιματική Αλλαγή – 2000» όπου εφαρμόζεται μέσω μιας σειράς νομοθετημάτων τα οποία αποσκοπούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία, τις μεταφορές και τον κτιριακό τομέα. Τα νομοθετήματα περιλαμβάνουν μέτρα για την ανάπτυξη της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, των βιοκαυσίμων, των προτύπων ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής επισήμανσης των ηλεκτρικών συσκευών. Επιπλέον περιλαμβάνουν μέτρα για την απόδοση τελικής χρήσης και ενεργειακών υπηρεσιών, την ενθάρρυνση των συστημάτων Σ.Η.Θ. (Συστήματα συμπαραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής ενέργειας), τη βελτίωση της αποδοτικότητας των λεβήτων (Οδηγία Λεβήτων, 92/42/ΕΟΚ), τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέσω βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Οδηγία SAVE, 93/76/ΕΟΚ), την ποιότητα των δομικών υλικών (Οδηγία, 89/106/ΕΟΚ), τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, τα κλιματιστικά, κλπ.

Τον Μάρτιο του 2023 εγκρίθηκαν τα σχέδια για έναν κλιματικά ουδέτερο κτιριακό τομέα έως το 2050 από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Η πρόταση αναθεώρησης της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, έχει ως στόχο την σημαντική μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου και την κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα της ΕΕ έως το 2030 και να θεσπίσει τον τομέα κλιματικά ουδέτερο έως το 2050. Προτάθηκε επίσης να αυξηθεί το ποσοστό ανακαίνισης των ενεργειακά μη αποδοτικών κτιρίων και να παρέχονται βελτιωμένες πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων γενικότερα. Σκοπός είναι να



προωθηθεί η χρήση πιο βιώσιμων ενεργειακών λύσεων και η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, με τον οριστικό στόχο της μείωσης της εξάρτησης από τους ορυκτούς πόρους και της επίτευξης μεγαλύτερης αειφορίας. Από το 2028 όλα τα καινούρια κτίρια θα πρέπει να έχουν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η αντίστοιχη προθεσμία για κτίρια που στεγάζουν, χρησιμοποιούνται, ή ανήκουν σε δημόσιες αρχές θεσπίζεται για το 2026. Όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τεχνολογίες συλλογής ηλιακής ενέργειας έως το 2028, εφόσον αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό, ενώ τα κτίρια κατοικιών που υποβάλλονται σε μεγάλης κλίμακας ανακαίνιση θα έχουν προθεσμία έως το 2032. Στην κλίμακα ενεργειακής απόδοσης από το A έως το G, τα κτίρια κατοικιών θα πρέπει να επιτύχουν την κατάταξή τους, τουλάχιστον στην κατηγορία E έως το 2030 και στην D έως το 2033. Η κατηγορία G αντιστοιχεί στο 15% των κτιρίων ενός κράτους μέλους με τις χειρότερες επιδόσεις. Τα μη οικιστικά και τα δημόσια κτίρια θα πρέπει να ανήκουν στις σχετικές κατηγορίες έως το 2027 και το 2030 αντίστοιχα. Τα μέτρα που απαιτούνται για την επίτευξη αυτών των στόχων θα καθοριστούν από τα κράτη μέλη στα λεγόμενα εθνικά σχέδια ανακαίνισης. (Δελτίο Τύπου Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, 2023)

Σε εθνικό επίπεδο το θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση του κτιριακού τομέα, αποτελείται από δέσμη μέτρων (κτιριοδομικούς και άλλους κανονισμούς) που αναπτύχθηκαν από το 1980 έως σήμερα και αρκετοί από αυτούς εναρμονίζονται Ευρωπαϊκές οδηγίες.

- 1980: Κανονισμός θερμομόνωσης
- 2000: Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ)
- 2008: Ν. 3661/2008
- 2010: Ν. 3851/2010
- 2010: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)
- 2010: Π.Δ. Ενεργειακών Επιθεωρητών
- 2008: Υ.Α. για τα δημόσια κτίρια
- 2008: 1<sup>ο</sup> ΕΣΔΕΑ
- 2010: Ν. 3855/2010
- 2011: Υ.Α. για τις ESCOs
- 2011: 2<sup>ο</sup> ΕΣΔΕΑ
- 2013: Ν. 4122/2013
- 2015: Ν. 4342/2015

Η μελέτη για τα συστήματα ΑΠΕ που εγκαθίστανται στην κατοικία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, γίνεται με ενεργειακό συμψηφισμό. Οπότε αξίζει να αναφερθεί η 3η τροποποίηση της υπό στοιχεία ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382/19.02.2019 υπουργικής απόφασης «Εγκατάσταση σταθμών παραγωγής από αυτοπαραγωγούς με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού ή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 14Α του Ν. 3468/2006, και από Ενεργειακές Κοινότητες με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού σύμφωνα με το άρθρο 11 του Ν. 4513/2018» (Β' 759). (ΦΕΚ 923/Β/22.02.2023)

## 2.6 System Advisor Model (SAM) software

Στη συνέχεια του κεφαλαίου, δίνονται πληροφορίες για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία για τη μοντελοποίηση της κατοικίας μελέτης και παρατίθεται η μαθηματική περιγραφή του.

### 2.6.1 Πληροφορίες για το SAM

Το System Advisor Model (SAM) αρχικά ονομαζόταν Solar Advisor Model και αναπτύχθηκε από το National Renewable Energy Laboratory (NREL) σε συνεργασία με την Sandia National Laboratories το 2005, για χρήση από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α, για ανάλυση και βελτίωση της ηλιακής τεχνολογίας. Η πρώτη δημόσια έκδοση του προγράμματος κυκλοφόρησε το 2007 καθιστώντας δυνατό στους χρήστες να αναλύουν φωτοβολταϊκά συστήματα και παραβολικά κατοπτρικά συστήματα (κυλινδοπαραβολικά) στην ίδια πλατφόρμα μοντελοποίησης, χρησιμοποιώντας σταθερές οικονομικές παραδοχές. Από το 2007 μέχρι και σήμερα το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α στηρίζει την ανάπτυξη και δωρεάν διανομή του προγράμματος. Το NREL συνεχίζει να κυκλοφορεί μία ή δύο νέες εκδόσεις του λογισμικού κάθε χρόνο με ενημερώσεις για την συντήρησή του αν χρειάζονται.

Στην σημερινή του μορφή, το SAM είναι ένα τεχνο-οικονομικό υπολογιστικό μοντέλο, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων των ατόμων που ασχολούνται με τη βιομηχανία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ερευνητών, μηχανικών, project managers κ.α.). Το SAM είναι λογισμικό ανοικτού κώδικα, οπότε ο βασικός κώδικάς του είναι διαθέσιμος στο κοινό. Οι ερευνητές μπορούν να μελετήσουν τον κώδικα για να κατανοήσουν τους αλγορίθμους του μοντέλου και οι προγραμματιστές λογισμικού μπορούν να συνεισφέρουν τα δικά τους μοντέλα και βελτιώσεις στο έργο.

Τα μοντέλα στο SAM αφορούν φωτοβολταϊκά συστήματα με προαιρετική αποθήκευση σε μπαταρία, συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια, θερμότητα βιομηχανικών διεργασιών, ηλιακή θέρμανση νερού, αιολική ενέργεια, γεωθερμία, βιομάζα και συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που είτε παρέχουν ενέργεια απευθείας στο δίκτυο, είτε συνεργάζονται με το ηλεκτρικό φορτίο ενός κτιρίου ή μιας εγκατάστασης συνδεδεμένου στο δίκτυο. Το πρόγραμμα δεν έχει την δυνατότητα να μοντελοποιήσει συστήματα εκτός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας ή υβριδικά συστήματα με περισσότερες από μία μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τα οικονομικά μοντέλα του λογισμικού αφορούν έργα, που είτε αγοράζουν και πωλούν ηλεκτρική ενέργεια σε τιμές λιανικής (οικιακά και εμπορικά), είτε πωλούν ηλεκτρισμό σε τιμή που καθορίζεται από την συμφωνία αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Power Purchase Agreement, PPA). Στο πρόγραμμα μοντελοποιούνται μικρά και μεγάλα έργα, από εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ σε στέγη κατοικίας όπως μελετάμε και στην συγκεκριμένη εργασία, έως μεγάλα έργα παραγωγής ηλιακής ενέργειας και αιολικά πάρκα.

Για την μοντελοποίηση ενός έργου Ανανεώσιμης Ενέργειας στο SAM, αρχικά επιλέγεται ένα «financial model» και ένα «performance model» για να αναπαραστήσει το έργο. Στην συνέχεια αναθέτονται τιμές στις διάφορες μεταβλητές του προγράμματος για να δοθούν πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία του έργου, τον τύπο και εξοπλισμό του συστήματος που επιλέγεται, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του, καθώς και πληροφορίες οικονομικού τομέα (π.χ. χρέωση κιλοβατώρας στη συγκεκριμένη περιοχή) και εκτελούνται προσομοιώσεις. Μία τυπική ανάλυση περιλαμβάνει την εκτέλεση προσομοίωσης, την εξέταση

των αποτελεσμάτων, την αναθεώρηση των μεταβλητών και την επανάληψη αυτής της διαδικασίας μέχρι την κατανόηση και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. (Blair κ.α., 2018)

### 2.6.2 Μαθηματική περιγραφή του SAM

Το SAM για τους υπολογισμούς που εκτελεί κατά την μοντελοποίηση ενός έργου, χρησιμοποιεί μαθηματικές εξισώσεις.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιεί στα παρακάτω μοντέλα:

- Οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα
- Οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία
- Οικιακή ανεμογεννήτρια

Εξισώσεις για οικιακό Φ/Σ και οικιακό Φ/Σ με μπαταρία (Gilman, 2015), (DiOrio κ.α., 2015):

Η παγκόσμια αποτελεσματική ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε (kWh/m<sup>2</sup>), υπολογίζεται στο SAM από την εξίσωση:

$$G = G_b + G_d + G_r \quad (2.1)$$

Όπου,  $G$  = η παγκόσμια αποτελεσματική ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου,  $G_b$  = η ακτινοβολία δέσμης,  $G_d$  = η διάχυτη ακτινοβολία,  $G_r$  = η ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε (A), υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_{sc} = \frac{I_L}{1 + \frac{R_{s,ref}}{R_{sh}}} \quad (2.2)$$

Όπου με  $I_{sc}$  συμβολίζεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης, με  $I_L$  συμβολίζεται το ελαφρύ ρεύμα, με  $R_{s,ref}$  η αντίσταση σε σειρά και με  $R_{sh}$  η αντίσταση διακλάδωσης.

Η τάση DC της συστοιχίας σε (V) για δεδομένο χρονικό διάστημα:

$$V_{dc} = V_{dc,m} \times N_{mod} \quad (2.3)$$

Το  $V_{dc}$  συμβολίζει την τάση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, το  $V_{dc,m}$  τη τάση συνεχούς ρεύματος του φωτοβολταϊκού πλαισίου και το  $N_{mod}$  τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας.

Η συνολική ισχύς AC του αντιστροφέα σε (kW):

$$C_i(AC) = P_{mi}(AC)(W) \times 0.001 \left( \frac{kw}{W} \right) \times N_{inv} \quad (2.4)$$

Όπου,

$C_i$  = συνολική ισχύς αντιστροφέα

$P_{mi}$  = μέγιστη ισχύς αντιστροφέα

$N_{inv}$  = αριθμός αντιστροφών

Η συνολική ισχύς DC του αντιστροφέα σε (kW):

$$C_i(DC) = P_{mi}(DC)(W) \times 0.001 \left( \frac{kw}{W} \right) \times N_{inv} \quad (2.5)$$

Η ονομαστική ισχύς DC των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε (kW):

$$P_{mp}(DC) = P_{mm}(DC)(W) \times 0.001 \left( \frac{kw}{W} \right) \times N_{mod} \quad (2.6)$$

Όπου,

$P_{mp}$  = ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκών πλαισίων

$P_{mm}$  = μέγιστη ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου

$N_{mod}$  = αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το συνολικό εμβαδόν σε τετραγωνικά μέτρα ( $m^2$ ) των φωτοβολταϊκών πλαισίων μιας συστοιχίας δίνεται από την εξίσωση:

$$A_{tot}(m^2) = A_{mod} \times N_{mod} \quad (2.7)$$

Όπου,

$A_{tot}$  = συνολική επιφάνεια φωτοβολταϊκών πλαισίων

$A_{mod}$  = επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα συγκεκριμένα για τις μπαταρίες περιγράφονται παρακάτω:

Το SAM υπολογίζει την ονομαστική χωρητικότητα μιας μπαταρίας (DC) (kWh) από την εξίσωση:

$$B_c(DC) = C_{cell}(Ah) \times V_{cell}(V_{DC}) \times N_{cell} \quad (2.8)$$

Όπου,

$B_c$  = ονομαστική χωρητικότητα μπαταρίας

$C_{cell}$  = χωρητικότητα κελιού

$V_{cell}$  = τάση κελιού

$N_{cell}$  = συνολικός αριθμός κελιών

Ο αριθμός των ωρών που η μπαταρία θα μπορούσε να εκφορτίζεται συνεχώς με τη μέγιστη ισχύ εκφόρτισης περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$T_b(h) = B_c(kWh) \times C_{db} (kW) \quad (2.9)$$

Όπου,

$T_b$  = χρόνος μέγιστης ισχύος

$C_{db}$  = μέγιστη ισχύ αποφόρτισης

Ο υπολογισμός της μάζας της μπαταρίας του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται από τον εξίσωση:

$$M_b(kg) = \frac{B_c(kWh) \times 1000 \left( \frac{Wh}{kWh} \right)}{E_m \left( \frac{Wh}{kg} \right)} \quad (2.10)$$

Όπου,

$M_b$  = μάζα μπαταρίας (kg)

$E_m$  = ειδική ενέργεια ανά μάζα (Wh/kg)

Στην συνέχεια δίνεται η εξίσωση του συντελεστή δυναμικότητας του συστήματος. Ο συντελεστής δυναμικότητας είναι ο λόγος της προβλεπόμενης ηλεκτρικής παραγωγής του συστήματος κατά το πρώτο έτος λειτουργίας προς την ονομαστική ισχύ, η οποία ισοδυναμεί με την ποσότητα ενέργειας που θα παρήγαγε το σύστημα εάν λειτουργούσε στην ονομαστική του ισχύ για κάθε ώρα του έτους.

$$\Lambda = \frac{Q \left( \frac{kWh}{yr} \right)}{P_s(kW) \times 8760 \left( \frac{h}{yr} \right)} \quad (2.11)$$

Όπου,

$\Lambda$  = συντελεστής δυναμικότητας συστήματος

$Q$  = ολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή του συστήματος τον πρώτο χρόνο

$P_s$  = ονομαστική ισχύς συστήματος

8760 = αριθμός ωρών ενός έτους

Το SAM υπολογίζει τον λόγο της ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής AC του συστήματος κατά το πρώτο έτος προς την ονομαστική του ισχύ σε DC, με τον εξής τύπο:

$$Y = \frac{Q \left( \frac{kWh}{yr} \right)}{P_m(kW)} \quad (2.12)$$

Όπου,

$Y$  = ενεργειακή απόδοση

$P_m$  = ονομαστική ισχύς

Εξισώσεις για οικιακή ανεμογεννήτρια (Freeman κ.α., 2014):

Αρχικά στο SAM για τον υπολογισμό της ισχύος εξόδου για ένα δεδομένο πεδίο ταχύτητας ανέμου, προσδιορίζεται πρώτα η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας σε (m/s).

$$V_h = V_{50} \left( \frac{h}{50} \right)^a \quad (2.13)$$

Όπου,

$V_h$  = ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης σε m/s

$V_{50}$  = ταχύτητα ανέμου στα 50 m σε m/s

$H$  = ύψος πλήμνης σε m

$\alpha$  = συντελεστής διάτμησης

Ο συντελεστής διάτμησης εξαρτάται από το έδαφος, συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,1 για ανοιχτά ύδατα έως περίπου 0,3 για λόφους ή βουνά. Επειδή το  $V_h$  περιγράφει τη μέση ταχύτητα του ανέμου της κατανομής Weibull για το δεδομένο ύψος πλήμνης, η παράμετρος σχήματος για το εν λόγω ύψος κόμβου μπορεί να υπολογιστεί εκ των υστέρων χρησιμοποιώντας την συνάρτηση  $\Gamma$ :

$$\lambda_h = \frac{V_h}{e^{\log \Gamma(1 + \frac{1}{K})}} \quad (2.14)$$

Όπου,

$\lambda_h$  = παράμετρος κατανομής Weibull (χωρίς μονάδες) στο ύψος της πλήμνης  $h$

$K$  = συντελεστής Weibull  $K$

Στη συνέχεια, το SAM χρησιμοποιεί τη σωρευτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας για να προβλέψει την πιθανότητα αν η ταχύτητα του ανέμου στην πλήμνη της ανεμογεννήτριας θα είναι ένας θετικός αριθμός μικρότερος ή ίσος με την ταχύτητα του ανέμου  $V_i$ .

$$F(V_i) = 1 - e^{-\left(\frac{V_i}{\lambda_h}\right)^K} \quad (2.15)$$

Όπου,

$F(V_i)$  = σωρευτική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας Weibull για την ταχύτητα του ανέμου

$V_i$  = ταχύτητα ανέμου σε m/s

Η πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου στην πλήμνη να εμπίπτει με την ταχύτητα ανέμου στην τρέχον πεδίο, δίνεται από την σχέση:

$$F(bin) = F(V_i) - F(V_{i-1}) \quad (2.16)$$

Όπου,  $F(V_i)$  και  $F(V_{i-1})$  = η σωρευτική συνάρτηση πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου στο τρέχον και στο προηγούμενο πεδίο, αντιστοίχως.

Για τον υπολογισμό της συμβολής συγκεκριμένου πεδίου ταχύτητας ανέμου στη συνολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή, το SAM υπολογίζει την ισχύ από την ταχύτητα του ανέμου στο πεδίο  $i$  :

$$P_i = P(V_i) \times F(bin) \times 8760 \quad (2.17)$$

Όπου,

$P_i$  = συμβολή της ταχύτητας του ανέμου  $V_i$  στη συνολική ετήσια ηλεκτρική παραγωγή της ανεμογεννήτριας σε Wh

$P(V_i)$  = ισχύς από την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας στην ταχύτητα ανέμου  $V_i$  σε W

8760 = αριθμός ωρών σε ένα έτος

Για προσομοιώσεις που βασίζονται στη κατανομή Weibull της ταχύτητας του ανέμου, το SAM υπολογίζει τη συμβολή κάθε πεδίου ταχύτητας ανέμου στην ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μιας μεμονωμένης ανεμογεννήτριας. Για ένα αιολικό πάρκο που αποτελείται από μία μόνο ανεμογεννήτρια, η ετήσια ηλεκτρική παραγωγή είναι:

$$Q_{wf} = \sum_{i=1}^N P_i \quad (2.18)$$

Όπου,

$Q_{wf}$  = ετήσια παραγωγή ενέργειας μίας ανεμογεννήτριας σε kWh

$N$  = αριθμός πεδίων ταχύτητας ανέμου στη κατανομή Weibull

Επειδή τα οικονομικά μοντέλα στο SAM απαιτούν ωριαίες τιμές ηλεκτρικής παραγωγής, το SAM υπολογίζει τις τιμές διαιρώντας την ετήσια ηλεκτρική παραγωγή με τον αριθμό των ωρών ενός έτους:

$$P_{wf,j} = \frac{Q_{wf}}{8760} \quad (2.19)$$

Όπου,  $P_{wf,j}$  = ηλεκτρική παραγωγή ανεμογεννήτριας σε χρόνο  $j$  σε kWh/h

Η ετήσια ηλεκτρική ισχύς του συστήματος είναι το άθροισμα της ισχύος των ανεμογεννητριών προσαρμοσμένη κατά τους συντελεστές απόδοσης. Υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{sys} = \sum_{n=1}^{8760} P_{wf,j} \times F_{adj,j} \quad (2.20)$$

Όπου,

$Q_{sys}$  = προσαρμοσμένη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού συστήματος σε kWh

$F_{adj,j}$  = συντελεστής ωριαίας προσαρμογής

Τέλος ο συντελεστής δυναμικότητας του συστήματος ταυτίζεται με τον συντελεστή δυναμικότητας του Φ/Σ και του Φ/Σ με μπαταρία, άρα υπολογίζεται από την εξίσωση (2.11).

## 3 Μεθοδολογία

### 3.1 Επιλογή και περιγραφή κτιρίου

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται μια κατοικία για την μοντελοποίηση της με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η συγκεκριμένη κατοικία επιλέχθηκε ως παράδειγμα μοντελοποίησης κτιρίων με εγκατεστημένα συστήματα ΑΠΕ και η ανάλυση της εργασίας βασίζεται πάνω σε αυτήν.

Η υπό μελέτη κατοικία εντάσσεται σε πολυκατοικία, η οποία βρίσκεται στην Πετρούπολη του Δυτικού Τομέα Αθηνών και ανήκει στην κλιματική ζώνη Β (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1, 2017). Η κατασκευή της έγινε το 1995 και το συνολικό εμβαδόν του οικοπέδου στο οποίο βρίσκεται είναι 285m<sup>2</sup>. Η πρόσοψή του κτιρίου βλέπει Βορειοδυτικά, βρίσκεται σε 190m υψόμετρο και οι γεωγραφικές του συντεταγμένες είναι 38,1deg. γεωγραφικό πλάτος και 23,7deg. γεωγραφικό μήκος.



Εικόνα 3-1. (α) Πλάγια δεξιά όψη, (β) Πλάγια αριστερή όψη και (γ) Πίσω όψη κτιρίου.



Το κτίριο χωρίζεται σε 5 ορόφους, όπου ο κάθε όροφος αποτελείται από ένα διαμέρισμα. Η κατοικία που εξετάζεται στην συγκεκριμένη εργασία είναι το διαμέρισμα του 3<sup>ου</sup> ορόφου. Το εμβαδόν του διαμερίσματος καλύπτει 89,4m<sup>2</sup> και αποτελείται από 1 καθιστικό-σαλόνι, 1 κουζίνα, 3 υπνοδωμάτια, 1 μπάνιο-λουτρό και 1 WC. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου καλύπτονται από το δίκτυο, καθώς και οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης καλύπτονται από ηλεκτρισμό.

Στον Πίνακα 3-1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε από τον Οκτώβριο του 2020 έως και τον Οκτώβριο του 2022, σύμφωνα με καταγραφές της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) για το οροφοδιαμέρισμα που μελετάται, καθώς και τα ποσά πληρωμής των λογαριασμών των αντίστοιχων περιόδων.

| ΠΕΡΙΟΔΟΣ<br>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ | ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ<br>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ<br>ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh) | ΠΟΣΟ<br>ΠΛΗΡΩΜΗΣ<br>(€) |
|-------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|
| 06/10/2020 – 07/02/2021 | 1289kWh                                     | 346€                    |
| 08/02/2021 – 06/06/2021 | 1115kWh                                     | 244€                    |
| 07/06/2021 – 05/10/2021 | 1001kWh                                     | 266€                    |
| 06/10/2021 – 06/02/2022 | 1342kWh                                     | 392€                    |
| 07/02/2022 – 05/06/2022 | 1125kWh                                     | 262€                    |
| 06/06/2022 – 05/10/2022 | 993kWh                                      | 276€                    |

**Πίνακας 3-1. Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας και ποσά πληρωμής.**

Παρατηρούμε ότι η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2021 είναι 3405 kWh με ποσό πληρωμής 856€ και αντίστοιχα για το έτος 2022 είναι 3460kWh με ποσό πληρωμής 930€. Η μέση τιμή της κιλοβατώρας την περίοδο της μελέτης κυμαίνεται στα 0,38€/kWh και τα ποσά πληρωμής των λογαριασμών προκύπτουν μειωμένα λόγω ελαφρύνσεων από κρατικές επιδοτήσεις.

Στον παρακάτω Πίνακα 3-2 φαίνονται οι διεργασίες στην κατοικία οι οποίες απαιτούν ενέργεια-ηλεκτρισμό.

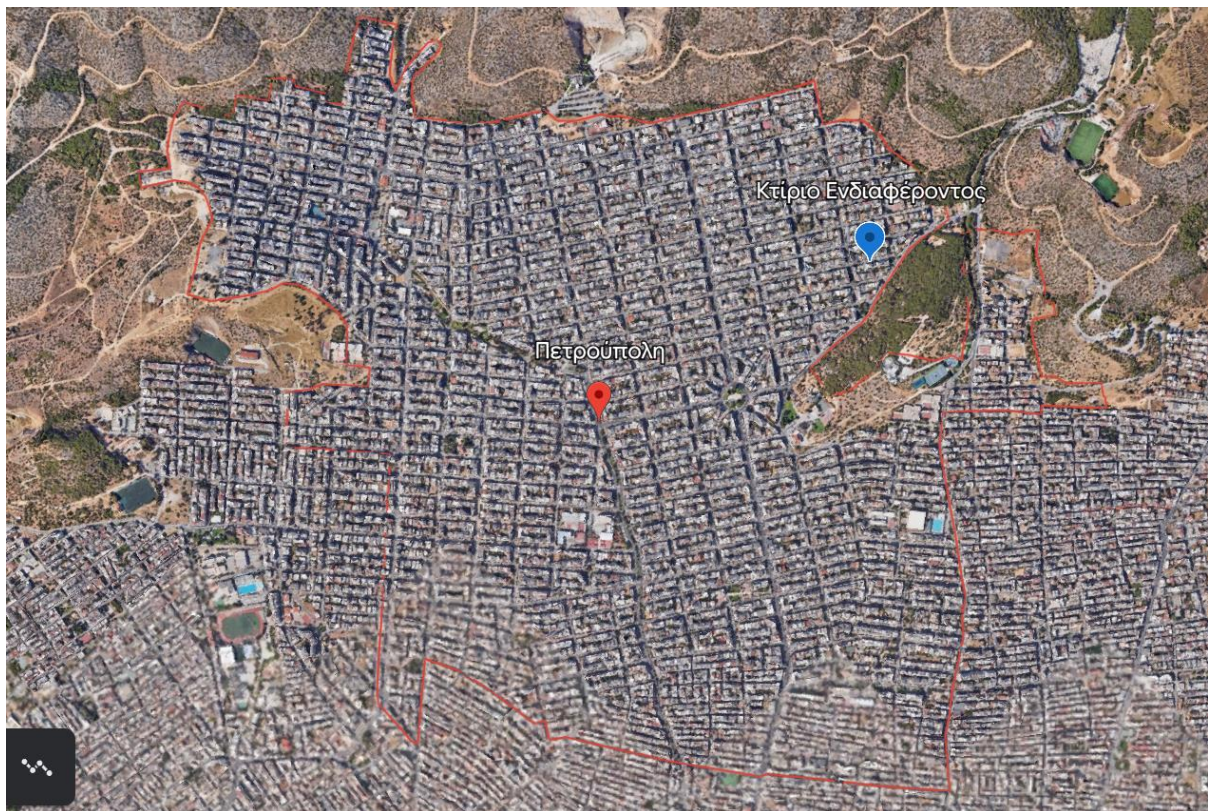
| Χρήση ηλεκτρικού ρεύματος στην κατοικία |
|-----------------------------------------|
| Θέρμανση χώρων                          |
| Ψύξη χώρων                              |
| Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης            |
| Μαγείρεμα                               |
| Συσκευές                                |
| Φωτισμός                                |

**Πίνακας 3-2. Διεργασίες στην κατοικία που έχουν απαίτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα.**

Το διαμέρισμα που μελετάται καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες από ηλεκτρισμό. Συγκεκριμένα η θέρμανση των χώρων γίνεται από κλιματιστικά και λέβητα πετρελαίου, αντίστοιχα η ψύξη των χώρων γίνεται από κλιματιστικά. Η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης καλύπτεται από ηλεκτρικό-ηλιακό θερμοσίφωνα, το μαγείρεμα γίνεται σε ηλεκτρική κουζίνα και ηλεκτρική ψησταριά και οι συσκευές και οι λαμπτήρες που χρειάζονται ενέργεια την προμηθεύονται από το ηλεκτρικό δίκτυο που είναι συνδεδεμένο το κτίριο.

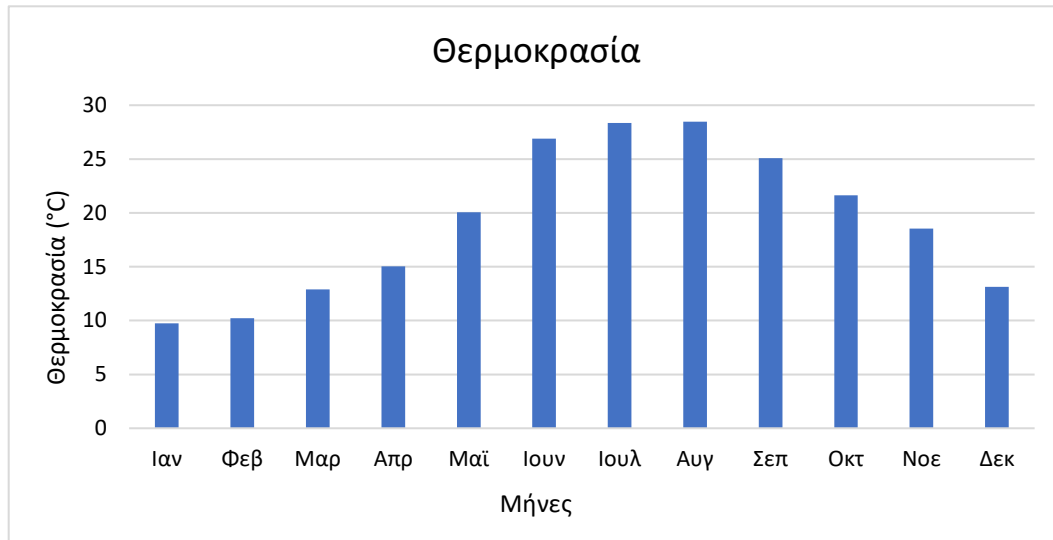
### 3.2 Περιγραφή περιοχής μελέτης και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά.

Η κατοικία που μελετάται στην συγκεκριμένη εργασία βρίσκεται στην Πετρούπολη του Δυτικού Τομέα Αθηνών. Η πόλη έχει έκταση 7543km<sup>2</sup>, ξεκινάει από τα 115m υψόμετρο και τα τελευταία σπίτια βρίσκονται περίπου στα 220m. Η κατοικία ενδιαφέροντός βρίσκεται στα 190m. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα και έντονη ηλιοφάνεια. Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα και πληροφορίες για τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου στη περιοχή.



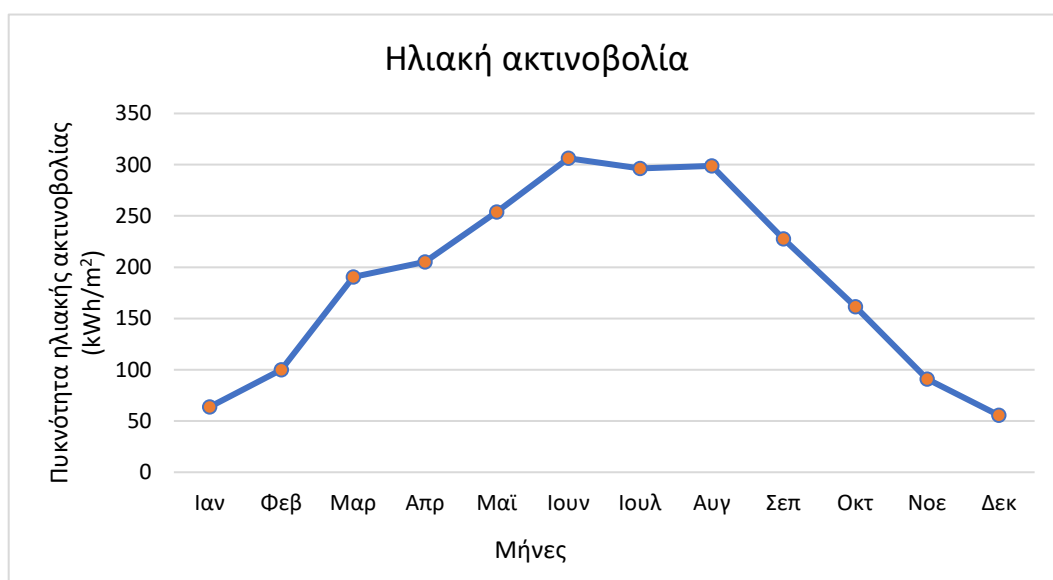
Εικόνα 3-2. Δορυφορική απεικόνιση περιοχής μελέτης (Google Earth).

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3-1 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας της περιοχής. Η χαμηλότερη θερμοκρασία παρατηρείται τον μήνα Ιανουάριο με μέση τιμή  $9,7^{\circ}\text{C}$ , ενώ η υψηλότερη τον Αύγουστο με  $28,5^{\circ}\text{C}$ . Από τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής φαίνεται και η μέση ετήσια θερμοκρασία η οποία είναι  $19,2^{\circ}\text{C}$ . (NSRDB, 2022)



**Διάγραμμα 3-1. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας.**

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3-2 παρουσιάζεται η πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής. Όπως είναι αναμενόμενο μεγαλύτερες τιμές έχουμε τους καλοκαιρινούς μήνες, με μέγιστη μέση μηνιαία τον Ιούνιο με  $306,3\text{kWh/m}^2$ , ενώ ελάχιστη έχουμε τον Δεκέμβριο με  $55,6\text{kWh/m}^2$ . (NSRDB, 2022)



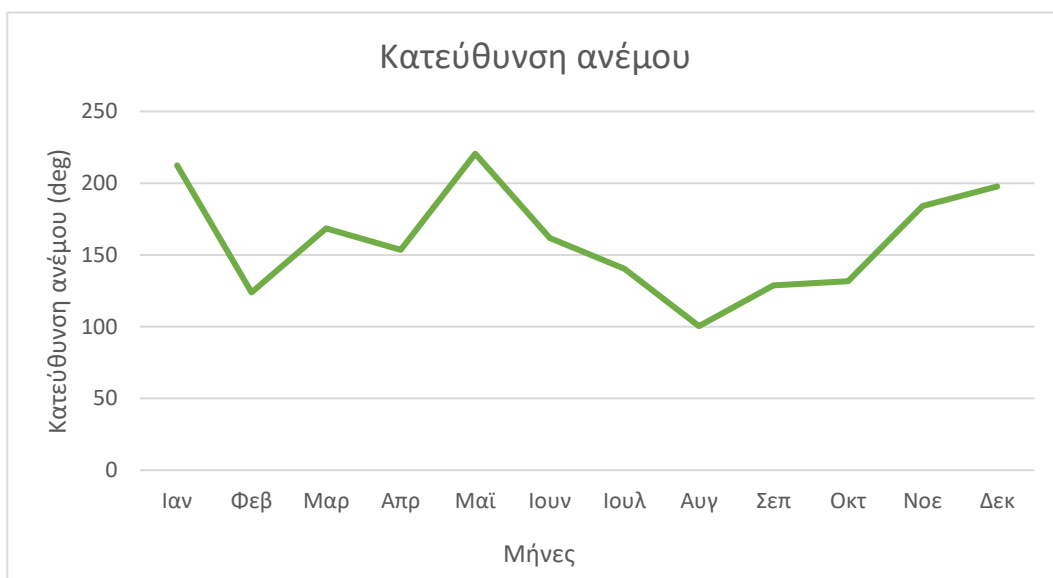
**Διάγραμμα 3-2. Μέσες μηνιαίες τιμές πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας.**

Ο άνεμος (διάγραμμα 3-3) παρουσιάζει μέγιστες τιμές τον Φεβρουάριο και τον Αύγουστο, ενώ ελάχιστες τον Μάιο σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Ειδικότερα η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή ταχύτητας ανέμου είναι 4,6m/s, η ελάχιστη είναι 2,3m/s, ενώ η μέση ετήσια τιμή ταχύτητας του είναι 3,4m/s. (NSRDB, 2022)



**Διάγραμμα 3-3. Μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου.**

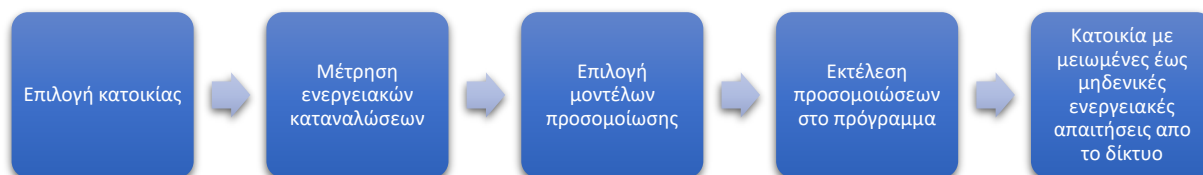
Η μηνιαία κατεύθυνση του ανέμου (σε degrees) φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 3-4. (NSRDB, 2022)



**Διάγραμμα 3-4. Μέσες μηνιαίες τιμές κατεύθυνσης ανέμου.**

### 3.3 Μοντελοποίηση του κτιρίου με ΑΠΕ στο SAM

Αρχικά, αφού επιλέχθηκε η κατοικία για την μοντελοποίησή της στο πρόγραμμα SAM, ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές της ανάγκες μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, βρέθηκαν τα φορτία ενέργειας που καταναλώνει και συλλέχθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα – δεδομένα καιρού της περιοχής ενδιαφέροντος. Στην συνέχεια έγιναν προσομοιώσεις με τα μοντέλα που επιλέχθηκαν από το πρόγραμμα. Ως αποτέλεσμα των προσομοιώσεων, η υπάρχουσα κατοικία με χρήση ΑΠΕ έχει ελάχιστες έως μηδενικές ενεργειακές απαιτήσεις από το δίκτυο.



**Εικόνα 3-3. Βήματα για την μοντελοποίηση της υφιστάμενης κατοικίας με χρήση ΑΠΕ.**

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα μοντέλα προσομοίωσης που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα.

| ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ |                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Μοντέλο 1</b>      | Φωτοβολταϊκό σύστημα                                                |
| <b>Μοντέλο 2</b>      | Φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία                                    |
| <b>Μοντέλο 3</b>      | Ανεμογεννήτρια                                                      |
| <b>Μοντέλο 4</b>      | Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος και ανεμογεννήτριας             |
| <b>Μοντέλο 5</b>      | Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία και ανεμογεννήτριας |

**Πίνακας 3-3. Μοντέλα που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα.**

Τα 5 μοντέλα που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα είχαν στόχο την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι ετήσιες απαιτήσεις της κατοικίας σε ηλεκτρισμό είναι περίπου 3500kWh, οπότε η μοντελοποίηση που έγινε είχε σκοπό την παραγωγή του συγκεκριμένου φορτίου. Τα συστήματα των ΑΠΕ που εφαρμόστηκαν στην κατοικία εγκαταστάθηκαν στην οροφή του κτιρίου, η οποία έχει ωφέλιμο εμβαδόν χρήσης 52m<sup>2</sup>.





Εικόνα 3-4. Οροφή κτιρίου (α) όψη.

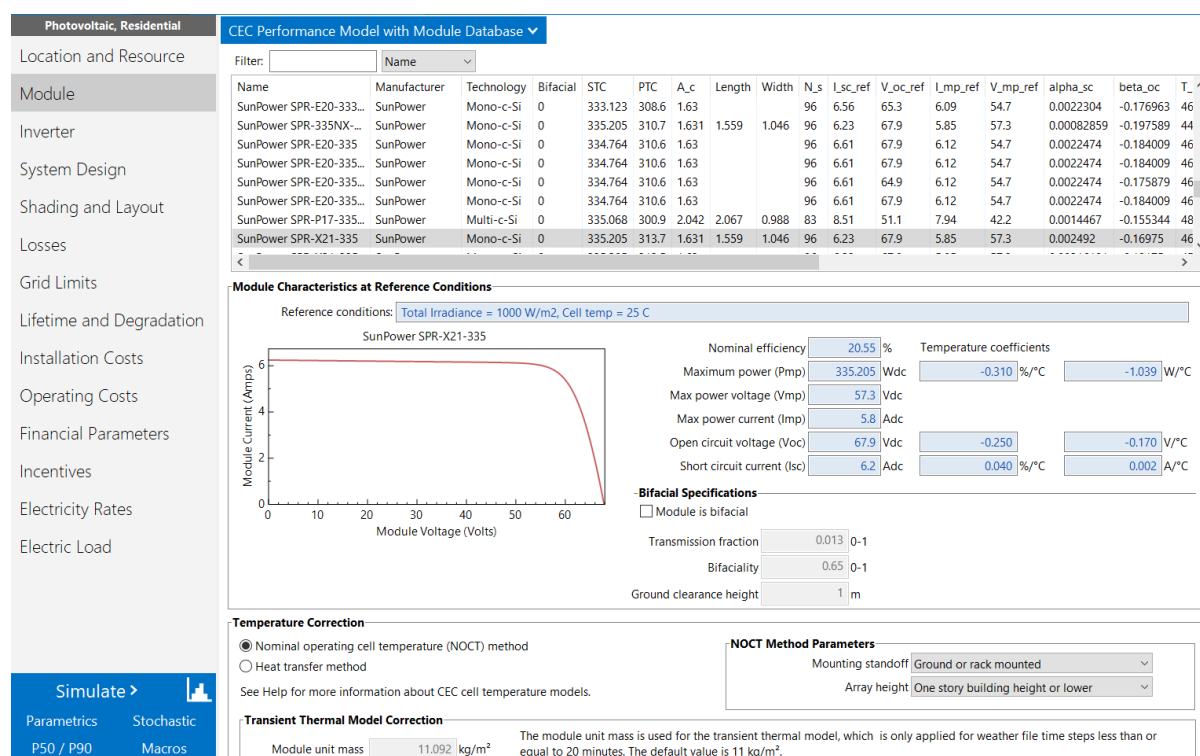


Εικόνα 3-5. Οροφή κτιρίου (β) όψη.

## 4 Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM

Τα συστήματα ΑΠΕ που εγκαταστάθηκαν στο κτίριο, στις προσομοιώσεις, δεν έχουν σκοπό να κάνουν την κατοικία αυτόνομη (ότι παράγει να καταναλώνει), αλλά έχουν σκοπό να συνδεθούν στο δίκτυο έτσι ώστε η ενέργεια που πωλείται να είναι ίση με την ενέργεια που αγοράζεται. Αυτό εξασφαλίζει στην κατοικία σταθερότητα καθώς τις μέρες που τα συστήματα δεν αποδίδουν λόγω μη ευνοϊκών καιρικών συνθηκών το ρεύμα θα αγοράζεται από το κεντρικό δίκτυο και τις μέρες που παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας θα πουλάνε ενέργεια στο δίκτυο. Για το λόγο αυτόν επιλέχθηκε ο ενεργειακός συμψηφισμός (net metering) για την μοντελοποίηση της κατοικίας.

### 4.1 Μοντέλο 1: Φωτοβολταϊκό σύστημα



Εικόνα 4-1. Περιβάλλον εργασίας SAM, Photovoltaic/Residential.

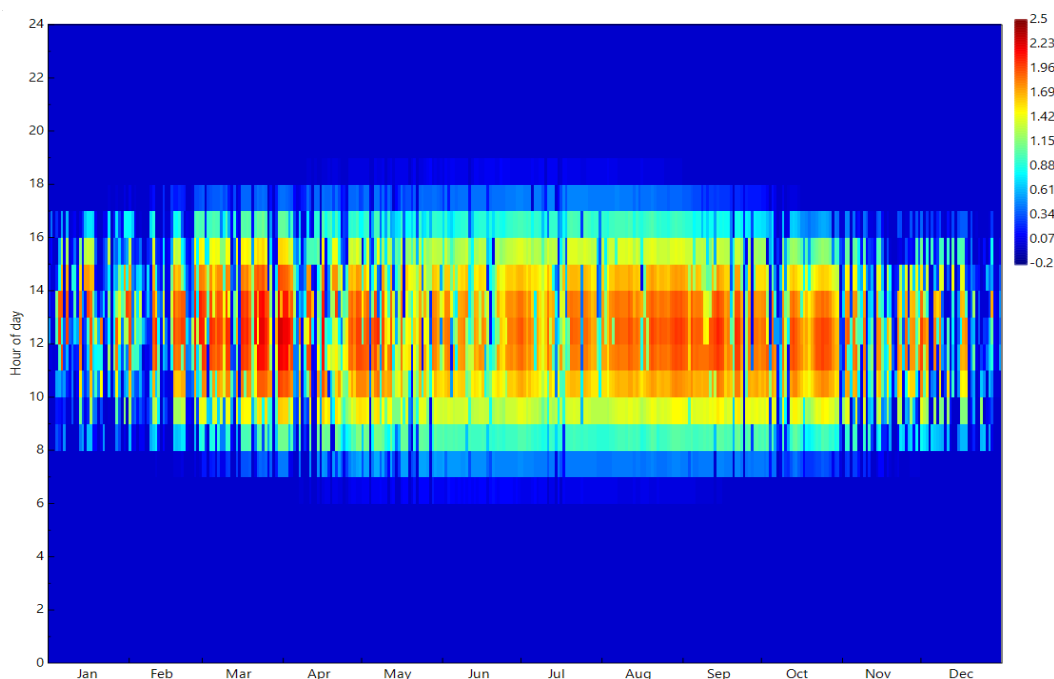
Κατά το πρώτο μοντέλο, μελετήθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του κτιρίου. Αρχικά, δόθηκαν στο πρόγραμμα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

- 1) Στην πρώτη περίπτωση του μοντέλου επιλέχθηκε πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο από την Hanwha SolarOne (Qidong) με ονομασία SF220-30-P200B, σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό αντιστροφέα της Ginlong Technologies Co-Ltd με ονομασία Solis-1P2.5K-4G-US.

| Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων              |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Ονομαστική Ισχύς $P_{mp}$ (W)            | 200,1            |
| Τάση στη μέγιστη ισχύ $V_{MPPT}$ (V)     | 27,6             |
| Τάση ανοιχτοκύκλωσης $V_{oc}$ (V)        | 35,7             |
| Ένταση στη μέγιστη ισχύ $I_{mp}$ (A)     | 7,2              |
| Ένταση βραχυκύκλωσης $I_{sc}$ (A)        | 7,8              |
| Ονομαστική Απόδοση (%)                   | 12,1             |
| Μήκος x Πλάτος x Βάθος Φ/Β πλαισίου (mm) | 1652 x 1000 x 45 |
| Αριθμός Φ/Β κυψελών πλαισίου             | 60               |

Πίνακας 4-1. Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών πλαισίων 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> περίπτωσης, 1<sup>ου</sup> μοντέλου.

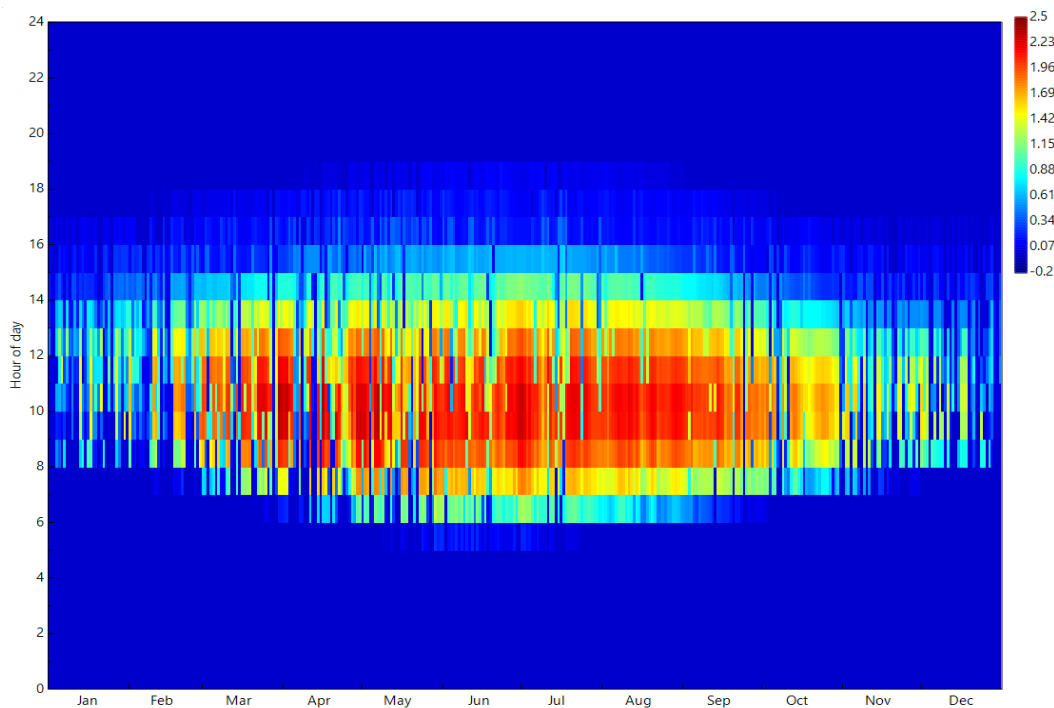
Κατά την μοντελοποίηση της κατοικίας στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε φωτοβολταϊκός αντιστροφέας από την Ginlong Technologies Co-Ltd με ονομαστική τάση εναλλασσόμενου ρεύματος 240V και μέγιστη ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος 2500W. Τοποθετήθηκαν 12 από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που αναφέρθηκαν στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο και συνολική έκταση 19,8m<sup>2</sup> (2.7). Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν παράλληλα, με κλίση 35° από το πάτωμα της οροφής του κτιρίου και αζιμούθιο 180°. Με αυτό το σύστημα επιτεύχθηκε μέση ετήσια παραγωγή 3435kWh, με συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=17,3\%$  (2.11) και ενεργειακή απόδοση  $Y=1516\text{kWh/kw}$  (2.12).



Διάγραμμα 4-1. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 1<sup>ης</sup> περίπτωσης.



- 2) Στην δεύτερη περίπτωση του μοντέλου επιλέχθηκε η ίδια διάταξη του συστήματος με την πρώτη περίπτωση (ίδια φωτοβολταϊκά πλαίσια και αντιστροφέας) αλλά άλλαξε ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Σε αυτή τη περίπτωση τα πλαίσια προσανατολίστηκαν στην ανατολή. Για την κάλυψη της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας της κατοικίας χρειάστηκαν 14 φωτοβολταϊκά πλαίσια με συνολική έκταση 23,1m<sup>2</sup> (2.7) και μέση ετήσια παραγωγή 3327kWh. Ο συντελεστής δυναμικότητας του συστήματος είναι  $\Lambda = 14,4\%$  (2.11) και η ενεργειακή απόδοση 1259kWh/kW (2.12).



Διάγραμμα 4-2. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 2<sup>ης</sup> περίπτωσης.

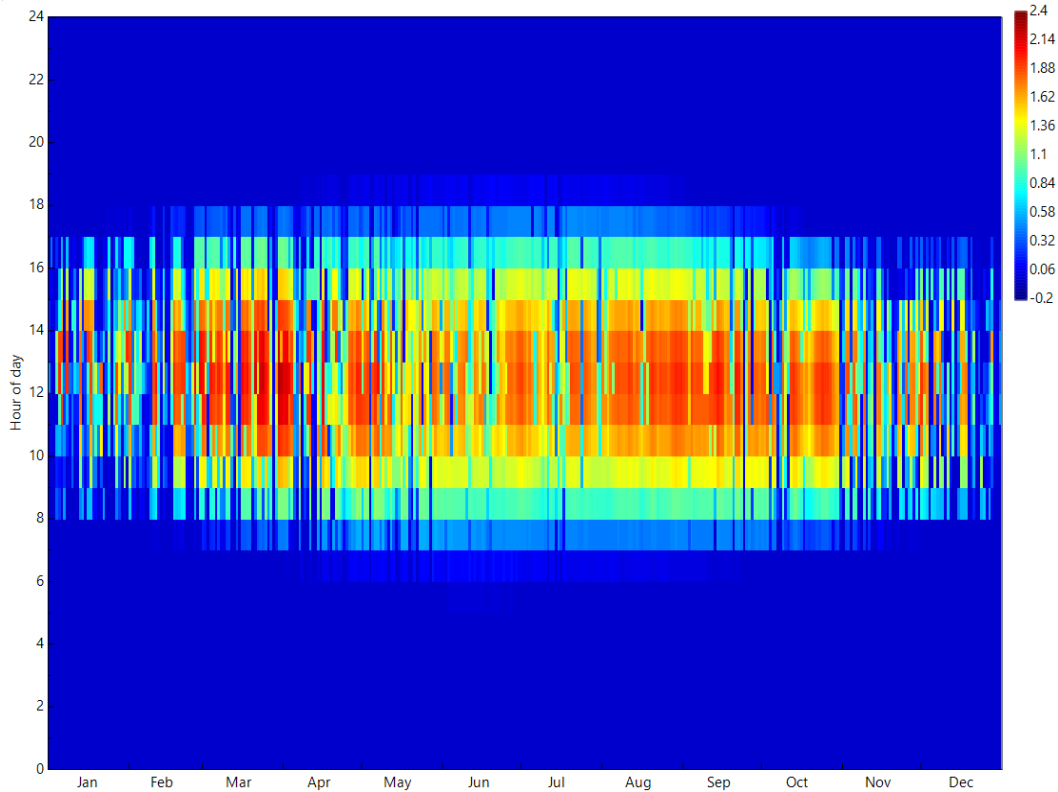
- 3) Στην τρίτη περίπτωση του μοντέλου επιλέχθηκε πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο από την Hanwha SolarOne (Qidong) με ονομασία SF220-30-P215B, σε συνδυασμό με τον ίδιο φωτοβολταϊκό αντιστροφέα της Ginlong Technologies Co-Ltd που χρησιμοποιήθηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

| Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων              |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Ονομαστική Ισχύς $P_{mp}$ (W)            | 215,1            |
| Τάση στη μέγιστη ισχύ $V_{MPPT}$ (V)     | 28,3             |
| Τάση ανοιχτοκύκλωσης $V_{oc}$ (V)        | 36,3             |
| Ένταση στη μέγιστη ισχύ $I_{mp}$ (A)     | 7,6              |
| Ένταση βραχυκύκλωσης $I_{sc}$ (A)        | 8,2              |
| Ονομαστική Απόδοση (%)                   | 13,02            |
| Μήκος x Πλάτος x Βάθος Φ/Β πλαισίου (mm) | 1652 x 1000 x 45 |
| Αριθμός Φ/Β κυψελών πλαισίου             | 60               |

Πίνακας 4-2. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 3<sup>ης</sup> περίπτωσης, 1<sup>ου</sup> μοντέλου.

#### 4. Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM

Τοποθετήθηκαν 11 από τα παραπάνω φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο και συνολική έκταση  $18,2\text{m}^2$  (2.7). Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν παράλληλα, με κλίση  $35^\circ$  από το πάτωμα της οροφής του κτιρίου και αζιμούθιο  $180^\circ$ . Με το συγκεκριμένο σύστημα παράγονται κατά μέσο όρο  $3372\text{kWh/yr}$ , με συντελεστή δυναμικότητας συστήματος  $\Lambda=17,2\%$  (2.11) και ενεργειακή απόδοση  $Y=1511\text{kWh/kw}$  (2.12).



**Διάγραμμα 4-3. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 3<sup>ης</sup> περίπτωσης.**

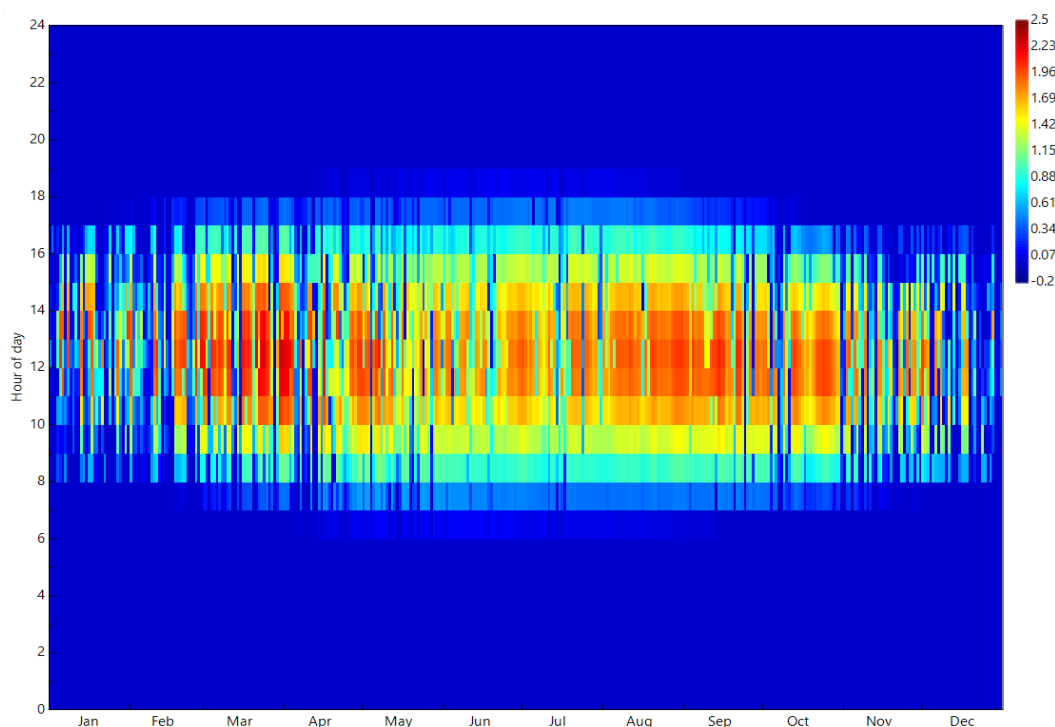
- 4) Στην τέταρτη περίπτωση του 1<sup>ου</sup> μοντέλου επιλέχθηκε μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο από την Mission Solar Energy LLC με ονομασία MSE300SB1A, σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό αντιστροφέα της Ginlong Technologies Co-Ltd με ονομασία Solis-1P3K-4G-US.

| Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων              |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Ονομαστική Ισχύς $P_{mp}$ (W)            | 302,32           |
| Τάση στη μέγιστη ισχύ $V_{MPPT}$ (V)     | 36,6             |
| Τάση ανοιχτοκύκλωσης $V_{oc}$ (V)        | 45,2             |
| Ένταση στη μέγιστη ισχύ $I_{mp}$ (A)     | 8,3              |
| Ένταση βραχυκύκλωσης $I_{sc}$ (A)        | 8,9              |
| Ονομαστική Απόδοση (%)                   | 15,5             |
| Μήκος x Πλάτος x Βάθος Φ/Β πλαισίου (mm) | 1950 x 1000 x 45 |
| Αριθμός Φ/Β κυψελών πλαισίου             | 72               |

**Πίνακας 4-3. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 4<sup>ης</sup> περίπτωσης, 1<sup>ου</sup> μοντέλου.**

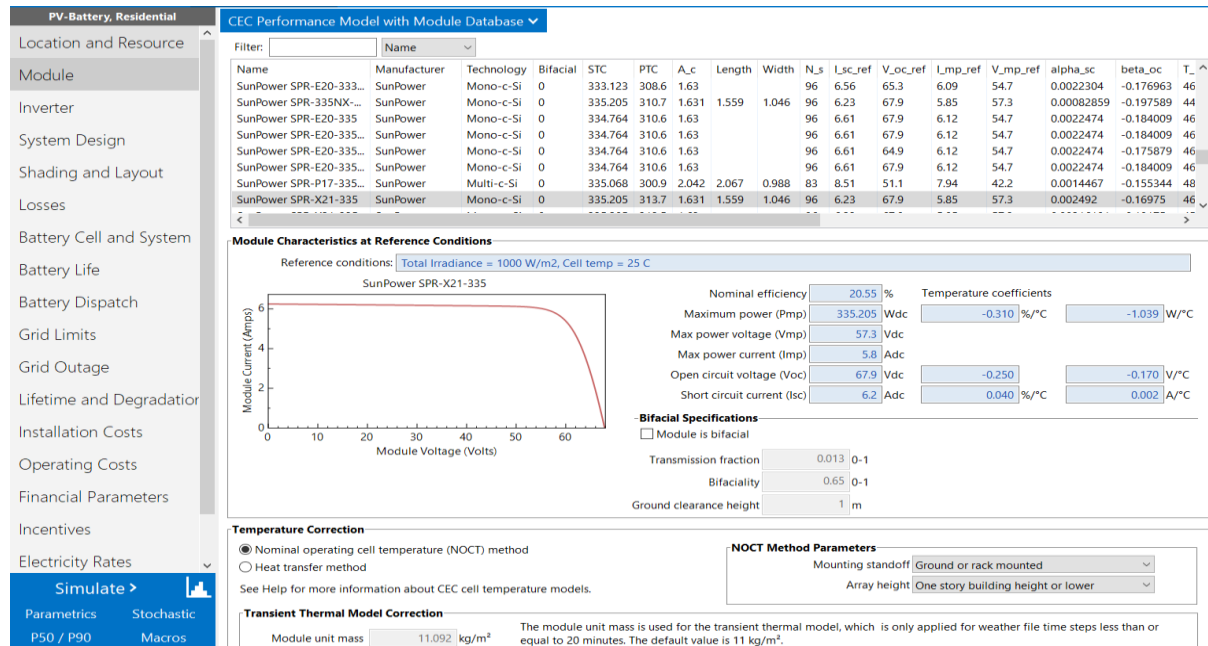
#### 4. Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM

Κατά την μοντελοποίηση της κατοικίας στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε Φ/Β αντιστροφέας από την Ginlong Technologies Co-Ltd με ονομαστική τάση εναλλασσόμενου ρεύματος 240V και μέγιστη ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος 3000W. Τοποθετήθηκαν 8 από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που αναφέραμε παραπάνω στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο και συνολική έκταση 15,6m<sup>2</sup> (2.7). Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν παράλληλα, με κλίση 35° από το πάτωμα της οροφής του κτιρίου και αζιμούθιο 180°. Με το σύστημα αυτό παράγονται κατά μέσο όρο 3389kWh/yr, με συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=17\%$  (2.11) και ενεργειακή απόδοση  $Y=1486\text{kWh/kw}$  (2.12).



**Διάγραμμα 4-4. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 4<sup>ης</sup> περίπτωσης.**

## 4.2 Μοντέλο 2: Φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία



Εικόνα 4-2. Περιβάλλον εργασίας SAM, PV-Battery/Residential.

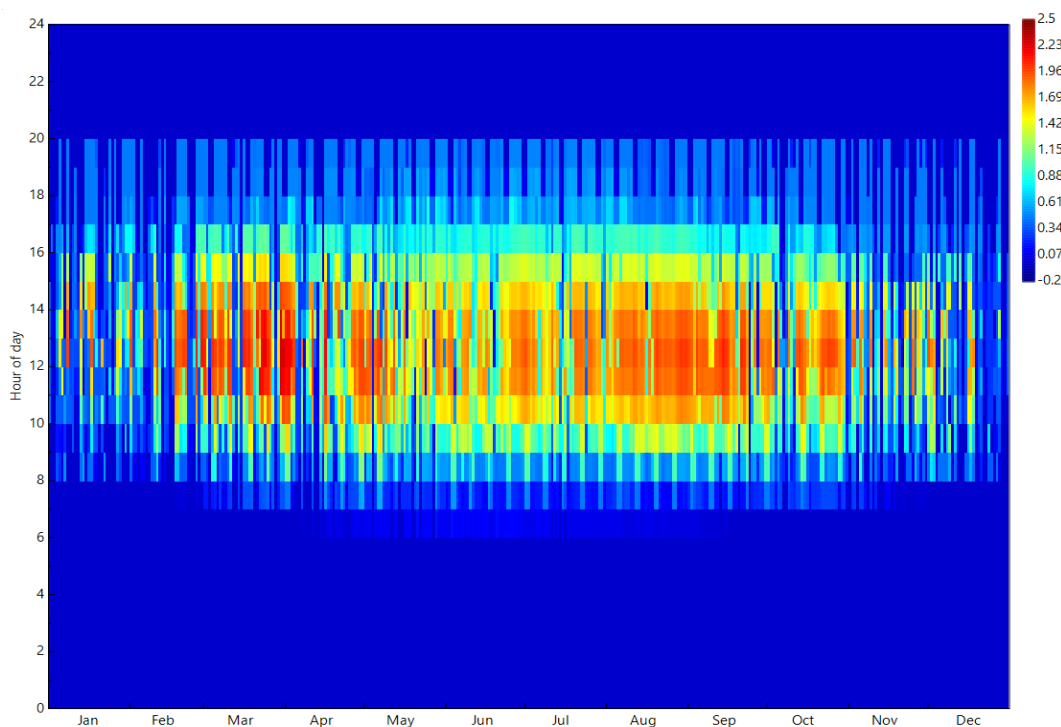
Στο δεύτερο μοντέλο εγκαθίσταται φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία στην οροφή του κτιρίου. Όπως και στο προηγούμενο μοντέλο, αρχικά δόθηκαν στο πρόγραμμα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

Σε αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια της Hanwha SolarOne (Qidong) με ονομασία SF220-30-P200B, σε συνδυασμό με τον φωτοβολταϊκό αντιστροφέα της Ginlong Technologies Co-Ltd με ονομασία Solis-1P2.5K-4G-US. Τοποθετήθηκαν 12 φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο και συνολική έκταση 19,8m<sup>2</sup> (2.7). Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν παράλληλα με κλίση 35° από το πάτωμα της οροφής του κτιρίου και αζιμούθιο 180°.

| Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων                 |                  |
|---------------------------------------------|------------------|
| Ονομαστική Ισχύς P <sub>mp</sub> (W)        | 200,1            |
| Τάση στη μέγιστη ισχύ V <sub>MPPT</sub> (V) | 27,6             |
| Τάση ανοιχτοκύκλωσης V <sub>oc</sub> (V)    | 35,7             |
| Ένταση στη μέγιστη ισχύ I <sub>mp</sub> (A) | 7,2              |
| Ένταση βραχυκύκλωσης I <sub>sc</sub> (A)    | 7,8              |
| Ονομαστική Απόδοση (%)                      | 12,1             |
| Μήκος x Πλάτος x Βάθος Φ/Β πλαισίου (mm)    | 1652 x 1000 x 45 |
| Αριθμός Φ/Β κυψελών πλαισίου                | 60               |

Πίνακας 4-4. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 2<sup>ου</sup> μοντέλου.

#### 4. Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM



**Διάγραμμα 4-5. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 2<sup>ου</sup> μοντέλου.**

- 1) Στην πρώτη περίπτωση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε μπαταρία ιόντων λιθίου.

| Χαρακτηριστικά μπαταρίας      |               |
|-------------------------------|---------------|
| Τύπος μπαταρίας               | Ιόντων λιθίου |
| Ονομαστική χωρητικότητα (kWh) | 2,5           |
| Ονομαστική Ισχύς (kW)         | 0,5           |
| Χρόνος στη μέγιστη ισχύ (h)   | 5,0           |
| Ονομαστική τάση (V)           | 50            |
| Βάρος (kg)                    | 26,9          |

**Πίνακας 4-5. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 1<sup>ης</sup> περίπτωσης, 2<sup>ου</sup> μοντέλου.**

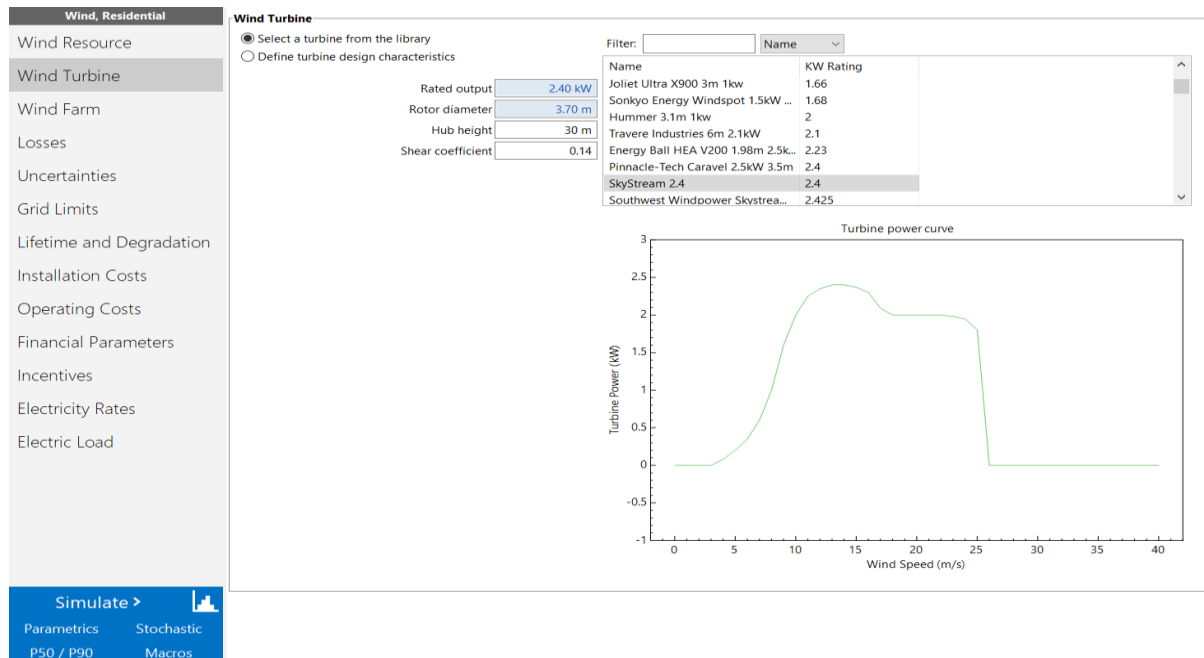
Το συγκεκριμένο σύστημα είχε αποτέλεσμα την μέση ετήσια παραγωγή 3423kWh, με συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=17,3\%$  (2.11) και ενεργειακή απόδοση  $\Upsilon=1513\text{kWh/kw}$  (2.12).

- 2) Στην δεύτερη περίπτωση του μοντέλου επιλέχθηκε μπαταρία μολύβδου οξέος και επιτεύχθηκε μέση ετήσια παραγωγή 3421kWh, με συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=17,3\%$  (2.11) και ενεργειακή απόδοση  $\Upsilon=1512\text{kWh/kw}$  (2.12).

| Χαρακτηριστικά μπαταρίας      |                |
|-------------------------------|----------------|
| Τύπος μπαταρίας               | Μολύβδου οξέος |
| Ονομαστική χωρητικότητα (kWh) | 2,5            |
| Ονομαστική Ισχύς (kW)         | 0,5            |
| Χρόνος στη μέγιστη ισχύ (h)   | 5,0            |
| Ονομαστική τάση (V)           | 12             |
| Βάρος (kg)                    | 72             |

Πίνακας 4-6. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 2<sup>ης</sup> περίπτωσης, 2<sup>ου</sup> μοντέλου.

### 4.3 Μοντέλο 3: Ανεμογεννήτρια



Εικόνα 4-3. Περιβάλλον εργασίας SAM, Wind/Residential

Το τρίτο μοντέλο είναι εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας στην οροφή του κτιρίου. Αφού επιλέχθηκε κατανομή Weibull για την ταχύτητα του ανέμου δόθηκαν στο πρόγραμμα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Συγκεκριμένα, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου 3,4m/s, το ύψος μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου 2m, και ο συντελεστής Weibull  $K=2$ .

- 1) Στην πρώτη περίπτωση του 3<sup>ου</sup> μοντέλου επιλέχθηκε μια μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα με τα εξής χαρακτηριστικά.

| Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας                           |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| Ονομαστική Ισχύς (kW)                                    | 0,95    |
| Τάση εξόδου (V)                                          | 120/220 |
| Διάμετρος ρότορα (m)                                     | 5       |
| Ύψος κέντρου του ρότορα από το έδαφος (m)                | 26      |
| Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης για παραγωγή ηλεκτρισμού (m/s) | 2       |
| Ταχύτητα ανέμου διακοπής παραγωγής ηλεκτρισμού (m/s)     | 25      |

Πίνακας 4-7. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 1<sup>ης</sup> περίπτωσης, 3<sup>ου</sup> μοντέλου.

Με την συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια στην οροφή του κτιρίου, εκτελώντας την προσομοίωση στο πρόγραμμα είδαμε μέση ετήσια παραγωγή 3333kWh (2.18) και συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=42,5\%$  (2.11).

- 2) Στην δεύτερη περίπτωση του μοντέλου εγκαταστάθηκαν δύο μικρές ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα στην οροφή του κτιρίου, με ετήσια παραγωγή 3308kWh (2.20) και συντελεστή δυναμικότητας  $\Lambda=28,6\%$  (2.11).

| Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών                           |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| Ονομαστική Ισχύς (kW)                                    | 0,7     |
| Τάση εξόδου (V)                                          | 120/220 |
| Διάμετρος ρότορα (m)                                     | 3       |
| Ύψος κέντρου του ρότορα από το έδαφος (m)                | 24      |
| Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης για παραγωγή ηλεκτρισμού (m/s) | 2       |
| Ταχύτητα ανέμου διακοπής παραγωγής ηλεκτρισμού (m/s)     | 25      |

Πίνακας 4-8. Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών 2<sup>ης</sup> περίπτωσης, 3<sup>ου</sup> μοντέλου.



## 4.4 Μοντέλο 4: Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος και ανεμογεννήτριας

Εικόνα 4-4. Περιβάλλον εργασίας SAM, Generic/Residential.

Στο τέταρτο μοντέλο συνδυάζεται φωτοβολταϊκό σύστημα με ανεμογεννήτρια για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας. Αφού δόθηκαν στο πρόγραμμα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, επιλέχθηκε η ακόλουθη διάταξη.

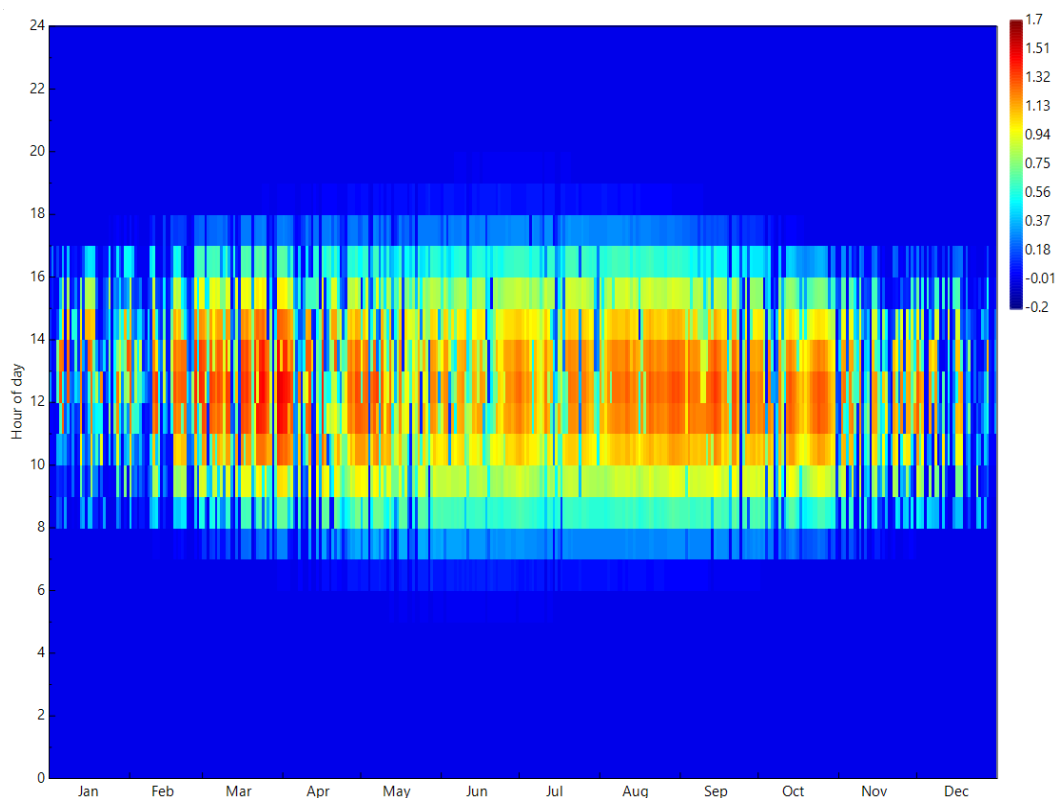
Εγκαταστάθηκαν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια SF220-30-P200 της Hanwha SolarOne (Qidong), σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό αντιστροφέα ονομαστικής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος 240V και μέγιστης ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος 2000W.

| Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων              |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Ονομαστική Ισχύς $P_{mp}$ (W)            | 200              |
| Τάση στη μέγιστη ισχύ $V_{MPPT}$ (V)     | 29,6             |
| Τάση ανοιχτοκύκλωσης $V_{oc}$ (V)        | 36               |
| Ένταση στη μέγιστη ισχύ $I_{mp}$ (A)     | 6,8              |
| Ένταση βραχυκύκλωσης $I_{sc}$ (A)        | 7,5              |
| Ονομαστική Απόδοση (%)                   | 12,1             |
| Μήκος x Πλάτος x Βάθος Φ/Β πλαισίου (mm) | 1652 x 1000 x 45 |
| Αριθμός Φ/Β κυψελών πλαισίου             | 60               |

Πίνακας 4-9. Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων 4<sup>ου</sup> και 5<sup>ου</sup> μοντέλου.

#### 4. Ανάλυση προσομοιώσεων - Μοντέλα στο SAM

Τοποθετήθηκαν 8 φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο και συνολική έκταση 13,2m<sup>2</sup> (2.7). Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν παράλληλα, με κλίση 35° από το πάτωμα της οροφής του κτιρίου και αζιμούθιο 180°. Με αυτό το σύστημα επιτεύχθηκε μέση ετήσια παραγωγή 2312kWh καλύπτοντας το 68% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας.



**Διάγραμμα 4-6. Ωριαία παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών 4<sup>ου</sup> και 5<sup>ου</sup> μοντέλου.**

Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας που απαιτείται από την κατοικία θα παραχθεί από μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα στην οροφή του κτιρίου. Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια παράγει κατά μέσο όρο 1001kWh/yr (2.18) καλύπτοντας το υπόλοιπο 32% της υπολειπόμενης απαιτούμενης ενέργειας.

| Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας                           |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| Ονομαστική Ισχύς (kW)                                    | 0,3     |
| Τάση εξόδου (V)                                          | 120/220 |
| Διάμετρος ρότορα (m)                                     | 3       |
| Ύψος κέντρου του ρότορα από το έδαφος (m)                | 24      |
| Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης για παραγωγή ηλεκτρισμού (m/s) | 2       |
| Ταχύτητα ανέμου διακοπής παραγωγής ηλεκτρισμού (m/s)     | 25      |

**Πίνακας 4-10. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 4<sup>ου</sup> και 5<sup>ου</sup> μοντέλου.**

#### 4.5 Μοντέλο 5: Συνδυασμός φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία και ανεμογεννήτριας

Στο πέμπτο μοντέλο εγκαταστάθηκε φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία και ανεμογεννήτρια στην οροφή του κτιρίου. Μετά την εισαγωγή στο πρόγραμμα των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής επιλέχθηκε η ακόλουθη διάταξη.

Εγκαταστάθηκαν τα ίδια φωτοβολταϊκά πλαίσια και φωτοβολταϊκός αντιστροφέας με το προηγούμενο μοντέλο (μοντέλο 4), με την ίδια διάταξη και συνδυάστηκαν με μπαταρία ιόντων λιθίου.

| Χαρακτηριστικά μπαταρίας      |               |
|-------------------------------|---------------|
| Τύπος μπαταρίας               | Ιόντων λιθίου |
| Ονομαστική χωρητικότητα (kWh) | 1,9           |
| Ονομαστική Ισχύς (kW)         | 0,4           |
| Χρόνος στη μέγιστη ισχύ (h)   | 5,0           |
| Ονομαστική τάση (V)           | 50            |
| Βάρος (kg)                    | 21,3          |

**Πίνακας 4-11. Χαρακτηριστικά μπαταρίας 5<sup>ου</sup> μοντέλου.**

Τα φωτοβολταϊκά με μπαταρία που δοκιμάστηκαν παρήγαγαν κατά μέσο όρο 2320kWh/yr καλύπτοντας το 68% της συνολικής ενέργειας που χρειάζεται η κατοικία.

Το υπόλοιπο 32% που χρειάζεται η κατοικία, καλύπτεται από ίδια οριζόντια ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε και στο προηγούμενο μοντέλο (μοντέλο 4), η οποία παράγει κατά μέσο όρο 1001kWh/yr (2.18).

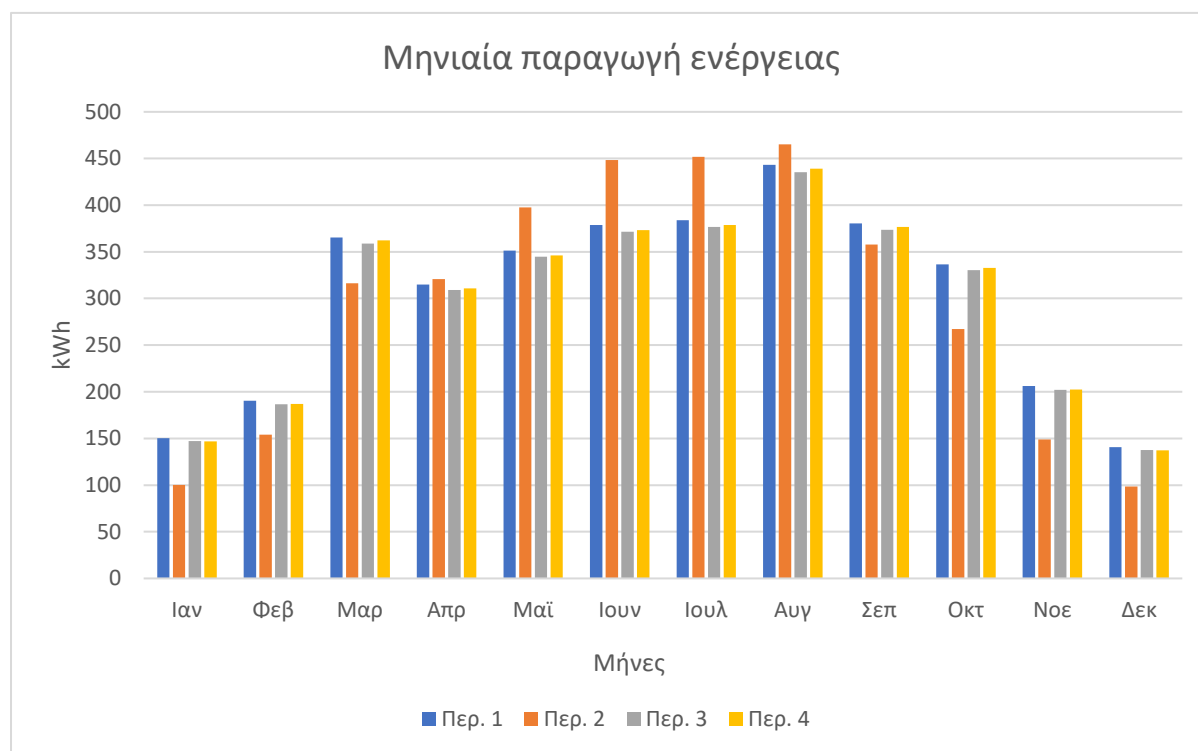
## 5 Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

### 5.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των περιπτώσεων, που έχουν προκύψει κατά την μοντελοποίηση της κατοικίας στα πρόγραμμα SAM.

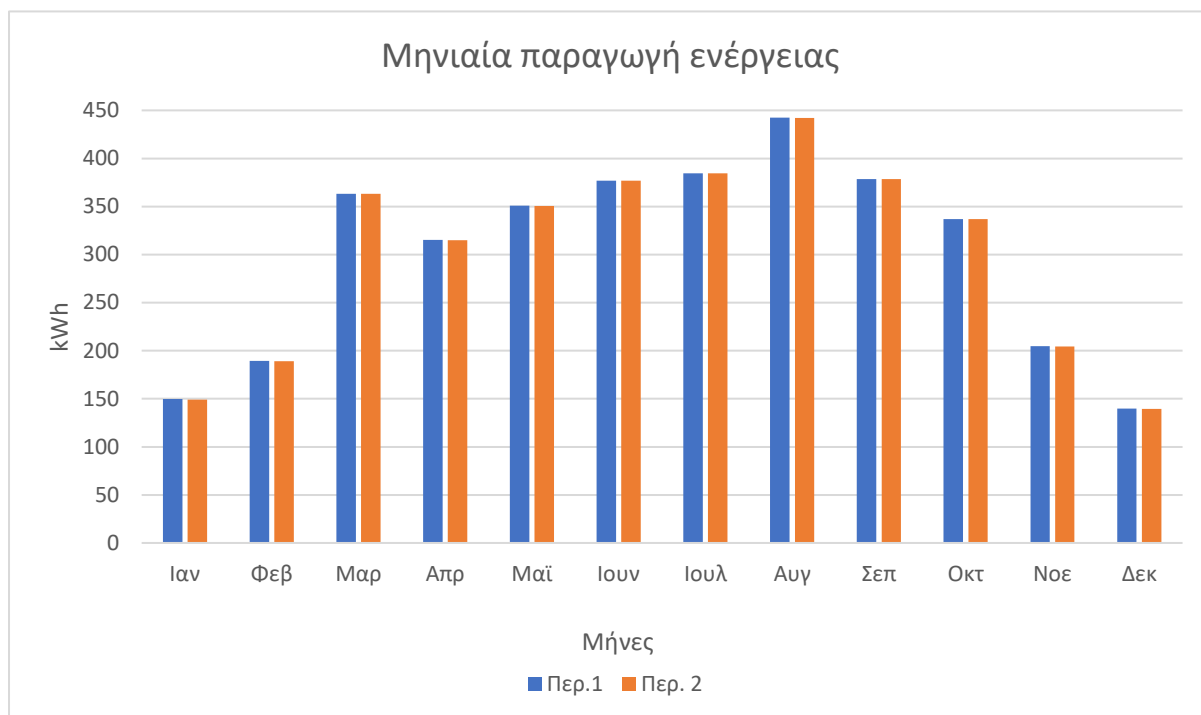
Στα συγκεντρωτικά διαγράμματα και στους πίνακες του υποκεφαλαίου 5.1, όπου περιλαμβάνονται όλα τα μοντέλα, επιλέχθηκε να παρουσιαστεί μία περίπτωση για τα μοντέλα 1, 2 και 3. Η 3<sup>η</sup> περίπτωση στο μοντέλο 1 (Φ/Σ), η 1<sup>η</sup> περίπτωση στα μοντέλα 2 (Φ/Σ με μπαταρία) και 3 (μικρή ανεμογεννήτρια) αντίστοιχα, ως αντιπροσωπευτικές των μοντέλων και οι πιο κατάλληλες για την κατοικία.

Στα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα 5-1 έως 5-3, παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας από τα συστήματα ΑΠΕ των 3 πρώτων μοντέλων.

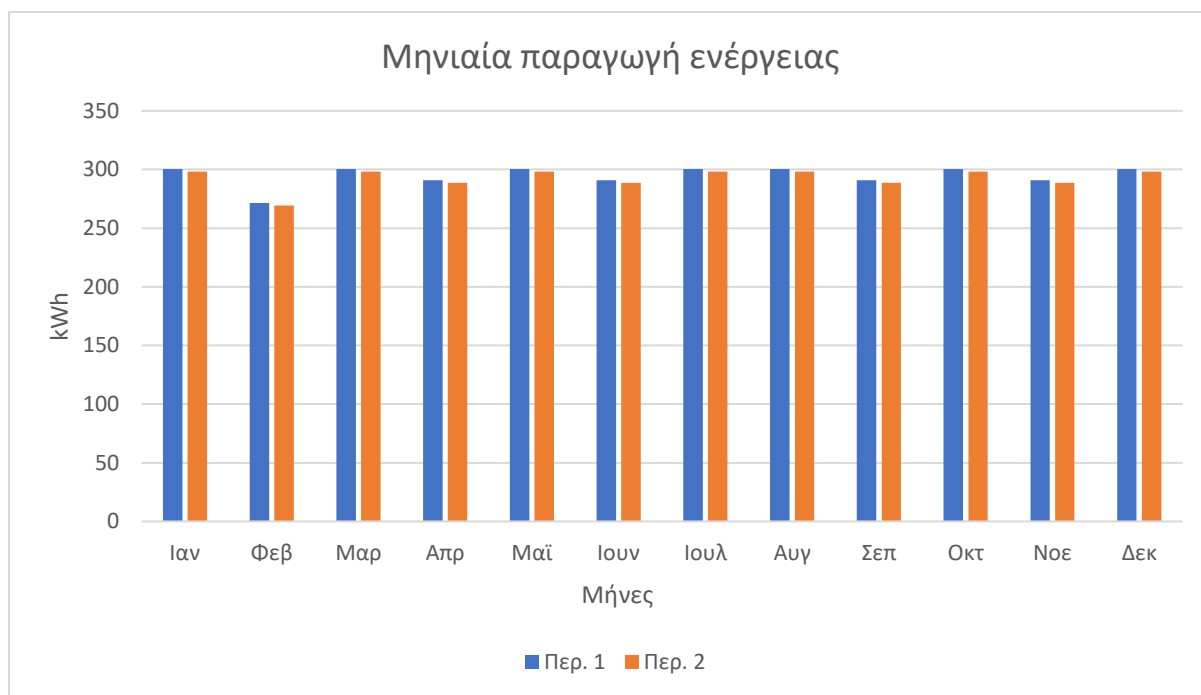


Διάγραμμα 5-1. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 1<sup>ου</sup> μοντέλου.

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση



Διάγραμμα 5-2. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 2<sup>ου</sup> μοντέλου.



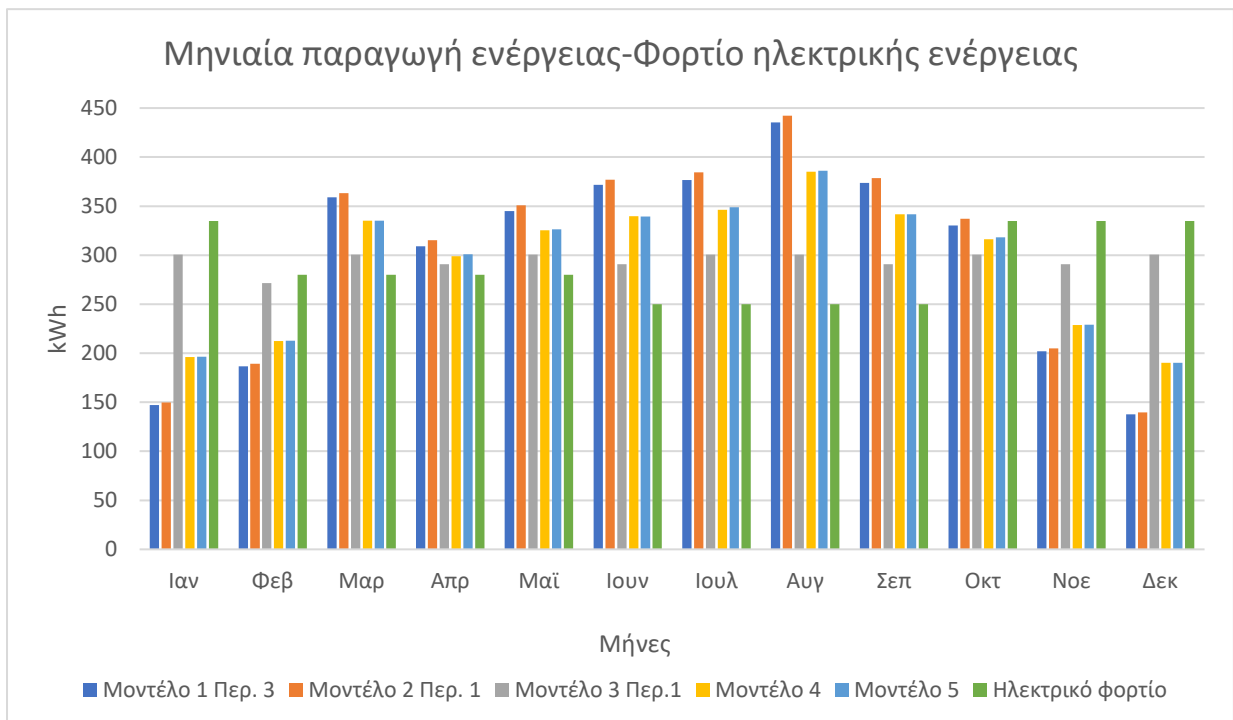
Διάγραμμα 5-3. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 3<sup>ου</sup> μοντέλου.

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

Στο συγκεντρωτικό πίνακα 5-1 και στο συγκεντρωτικό διάγραμμα 5-4, παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας των συστημάτων, από τη καταλληλότερη περίπτωση κάθε μοντέλου, με το μηνιαίο ηλεκτρικό φορτίο της κατοικίας. (Τα μοντέλα 4 και 5 έχουν από μία περίπτωση)

| Μήνες | Ενέργεια (kWh)      |                     |                     |           |           |                     |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|---------------------|
|       | Μοντέλο 1<br>Περ. 3 | Μοντέλο 2<br>Περ. 1 | Μοντέλο 3<br>Περ. 1 | Μοντέλο 4 | Μοντέλο 5 | Ηλεκτρικό<br>Φορτίο |
| Ιαν   | 147,2               | 149,7               | 300,4               | 196,1     | 196,4     | 335                 |
| Φεβ   | 186,6               | 189,3               | 271,4               | 212,4     | 212,6     | 280                 |
| Μαρ   | 358,9               | 363,1               | 300,4               | 335,3     | 335,3     | 280                 |
| Απρ   | 309,1               | 315,4               | 290,7               | 299,1     | 300,8     | 280                 |
| Μαϊ   | 344,9               | 350,8               | 300,4               | 325,2     | 326,2     | 280                 |
| Ιουν  | 371,7               | 377,0               | 290,7               | 339,6     | 339,4     | 250                 |
| Ιουλ  | 376,7               | 384,5               | 300,4               | 346,4     | 348,7     | 250                 |
| Αυγ   | 435,3               | 442,4               | 300,4               | 385,2     | 386,2     | 250                 |
| Σεπ   | 373,7               | 378,4               | 290,7               | 341,6     | 341,7     | 250                 |
| Οκτ   | 330,4               | 337                 | 300,4               | 316,1     | 318,1     | 335                 |
| Νοε   | 202,1               | 204,8               | 290,7               | 228,7     | 228,9     | 335                 |
| Δεκ   | 137,8               | 139,8               | 300,4               | 190,1     | 190,2     | 335                 |

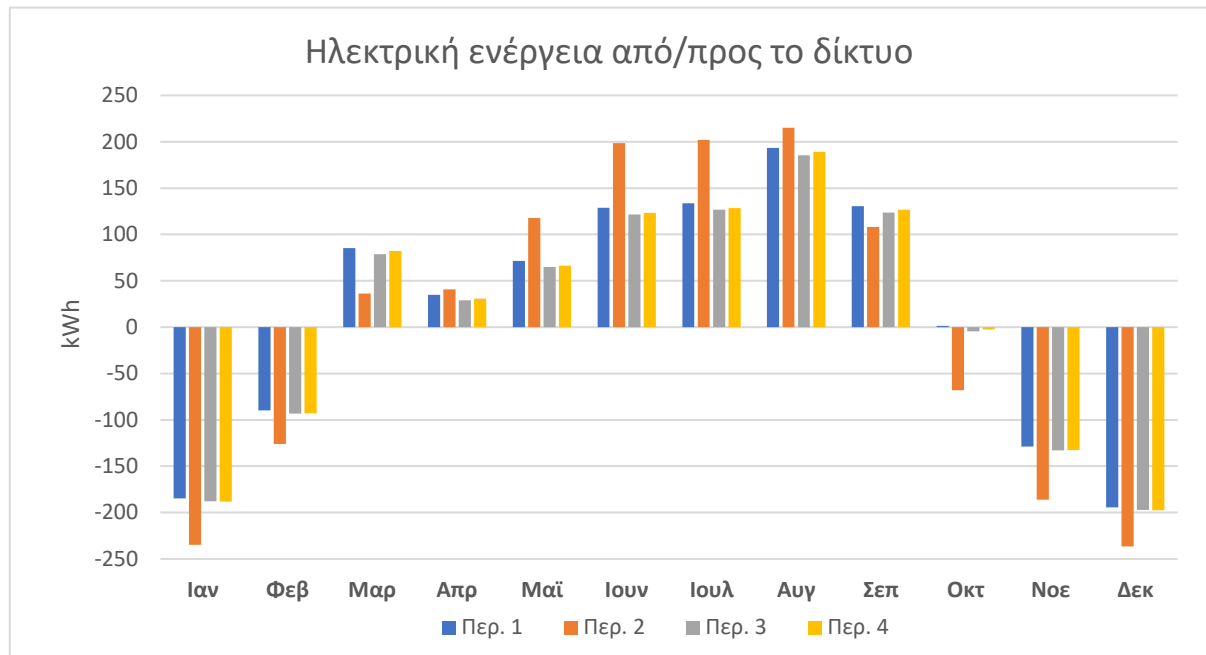
**Πίνακας 5-1. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων.**



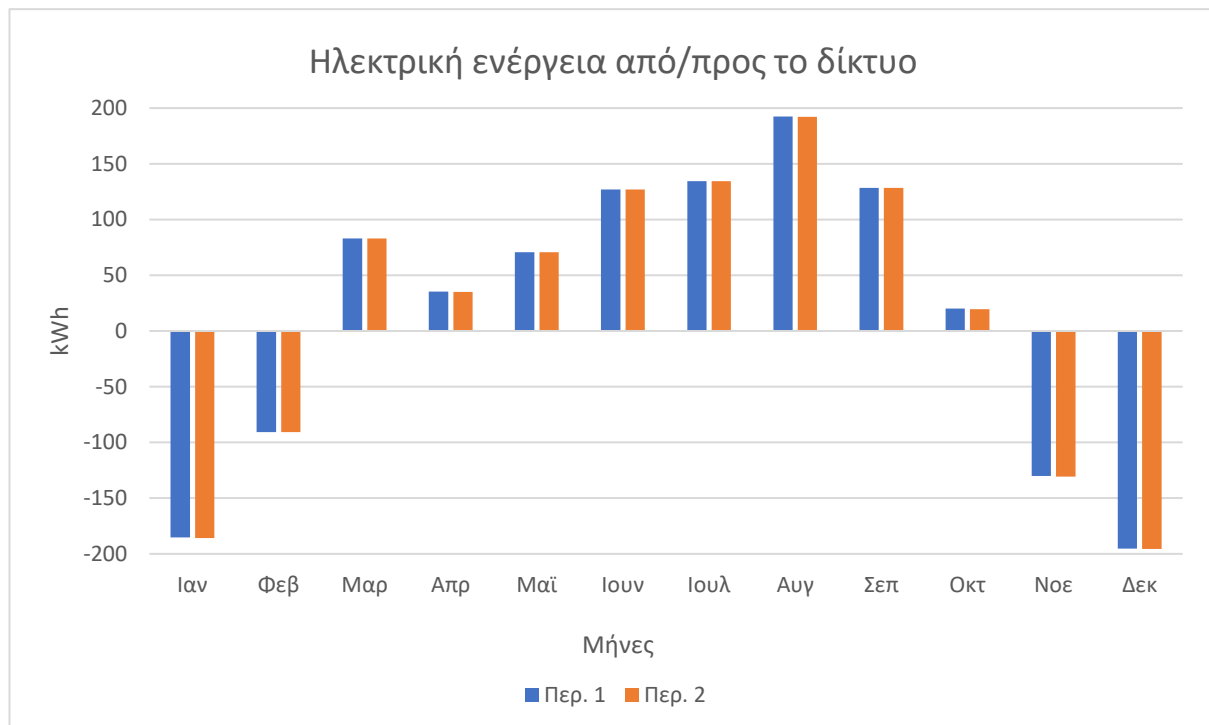
**Διάγραμμα 5-4. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά.**

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

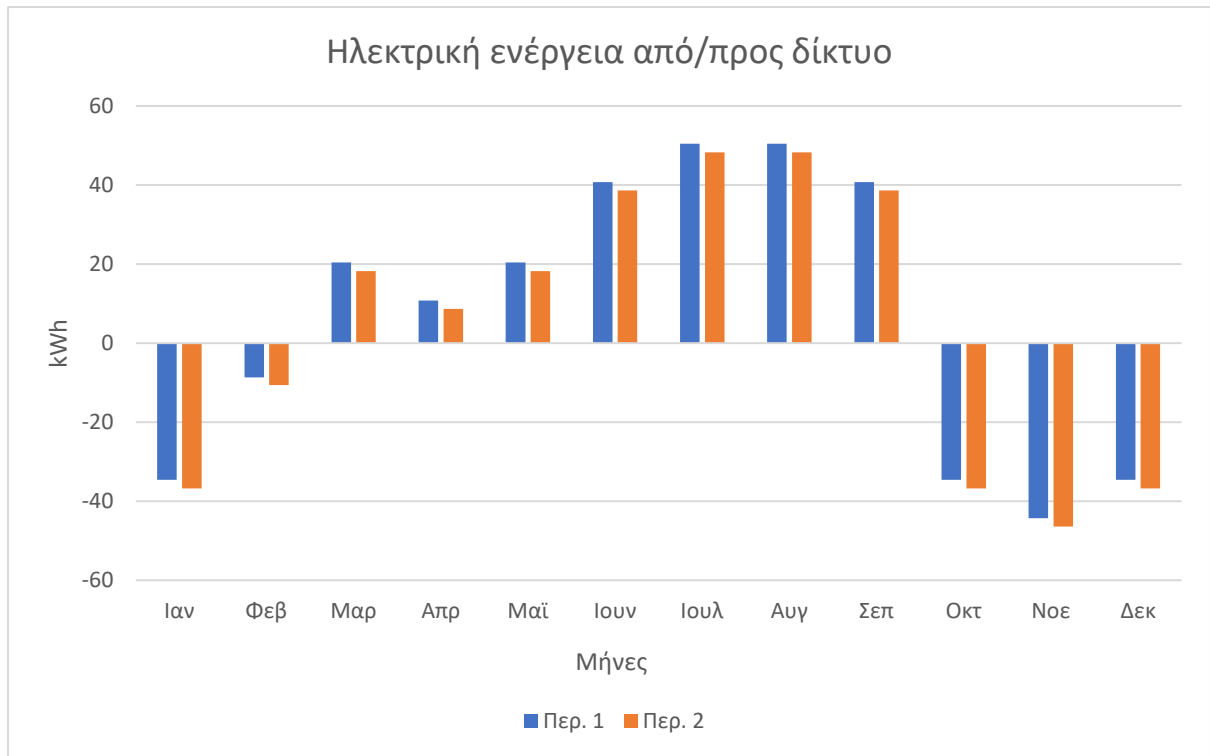
Στα συγκριτικά διαγράμματα 5-5 έως και 5-7, φαίνεται η μηνιαία ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο (με θετικές τιμές) και αντίστοιχα η ενέργεια που δίνει το δίκτυο (με αρνητικές τιμές) στις περιπτώσεις των τριών πρώτων μοντέλων.



Διάγραμμα 5-5. Ισοζύγιο ενέργειας στο 1<sup>ο</sup> μοντέλο.

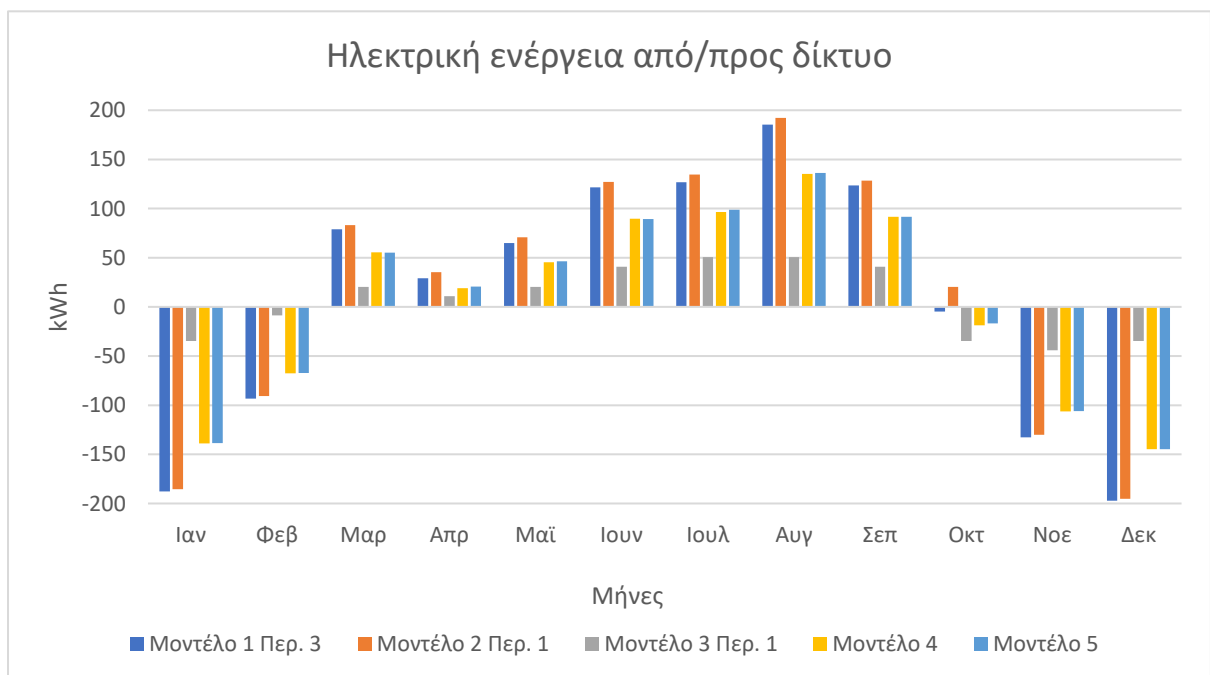


Διάγραμμα 5-6. Ισοζύγιο ενέργειας στο 2<sup>ο</sup> μοντέλο.



**Διάγραμμα 5-7. Ισοζύγιο ενέργειας στο 3<sup>ο</sup> μοντέλο.**

Στο παρακάτω συγκεντρωτικό διάγραμμα 5-8, παρουσιάζεται η μηνιαία ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο (με θετικές τιμές) και αντίστοιχα η ενέργεια που δίνει το δίκτυο (με αρνητικές τιμές), της καταλληλότερης περίπτωσης κάθε μοντέλου. (Τα μοντέλα 4 και 5 έχουν από μία περίπτωση)

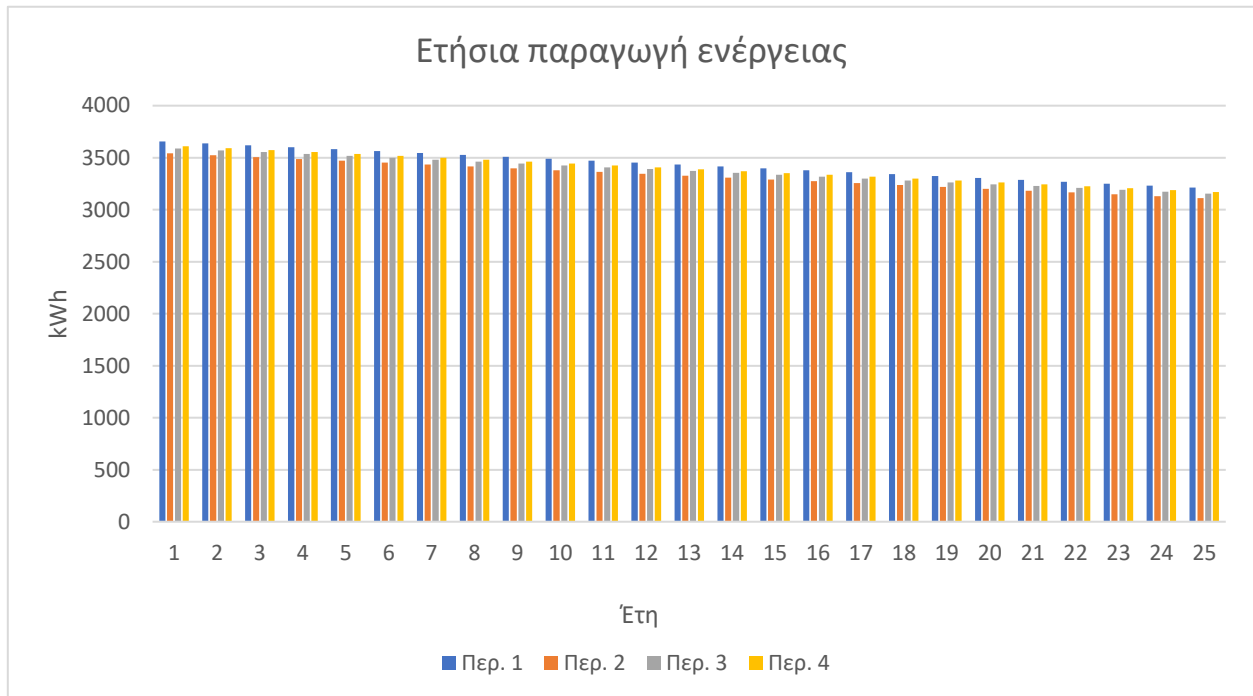


**Διάγραμμα 5-8. Ισοζύγιο ενέργειας μοντέλων συγκεντρωτικά.**

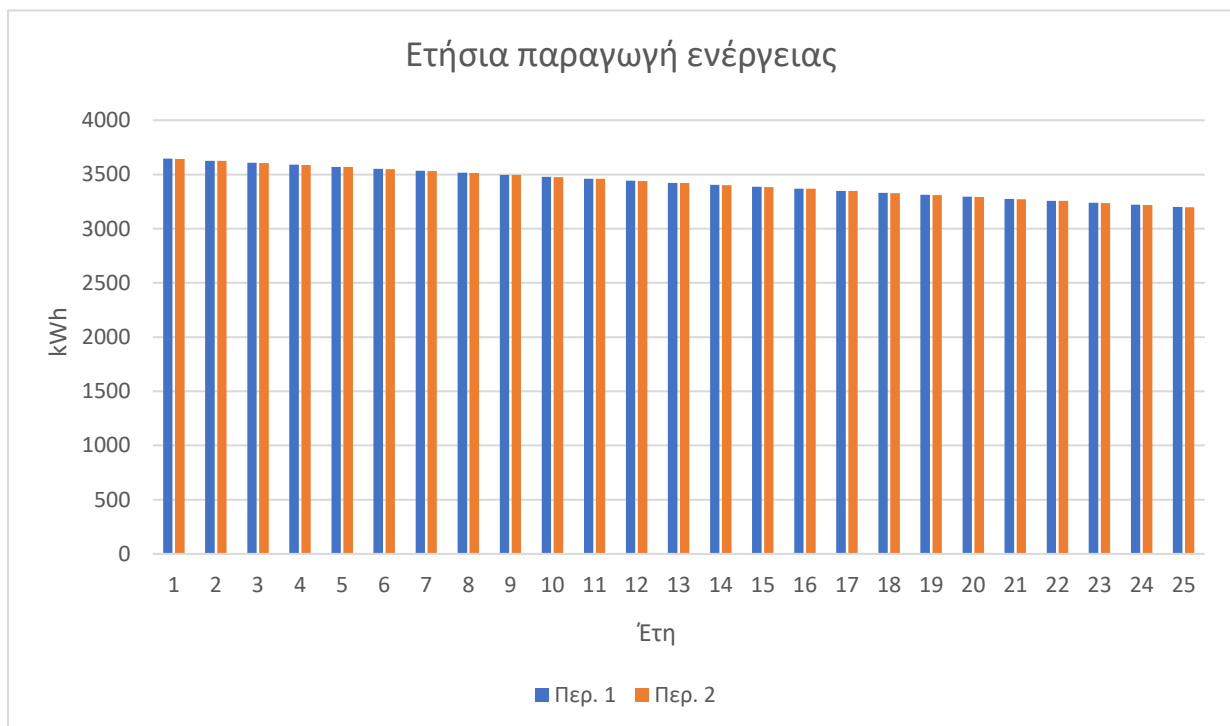


## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

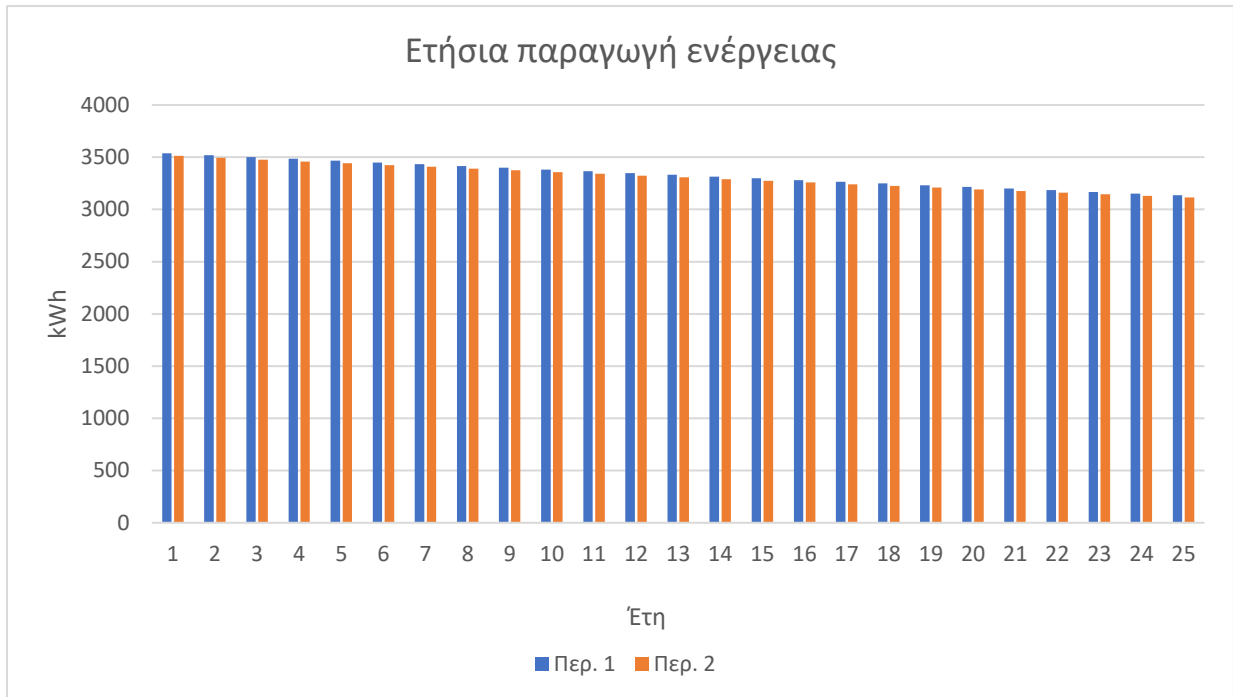
Στα επόμενα συγκριτικά διαγράμματα 5-9 έως και 5-11, φαίνεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα συστήματα ΑΠΕ των μοντέλων 1, 2 και 3.



**Διάγραμμα 5-9. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 1<sup>ου</sup> μοντέλου.**

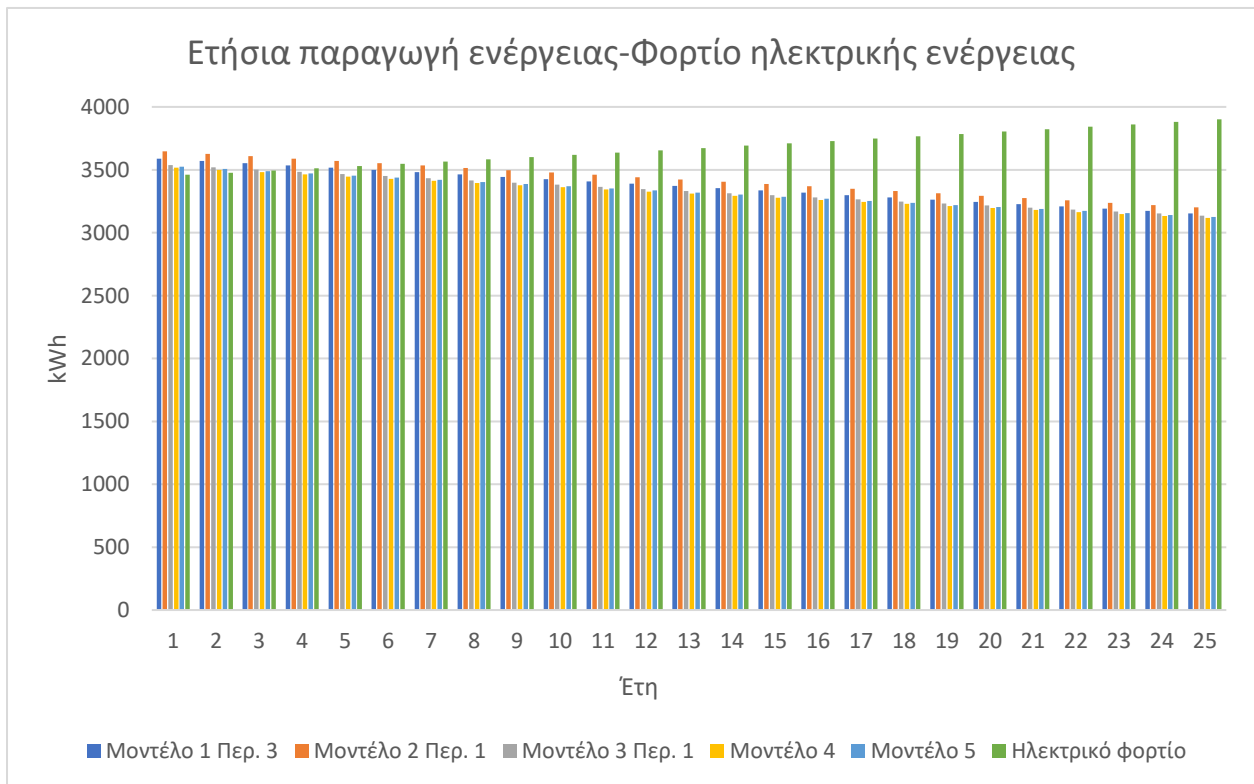


**Διάγραμμα 5-10. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 2<sup>ου</sup> μοντέλου.**



**Διάγραμμα 5-11. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων, των περιπτώσεων του 3<sup>ου</sup> μοντέλου.**

Στο συγκεντρωτικό διάγραμμα 5-12 και στον συγκεντρωτικό πίνακα 5-2, παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας των συστημάτων, από την καταλληλότερη περίπτωση κάθε μοντέλου, με το ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο της κατοικίας. (Τα μοντέλα 4 και 5 έχουν από μία περίπτωση).



**Διάγραμμα 5-12. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά.**

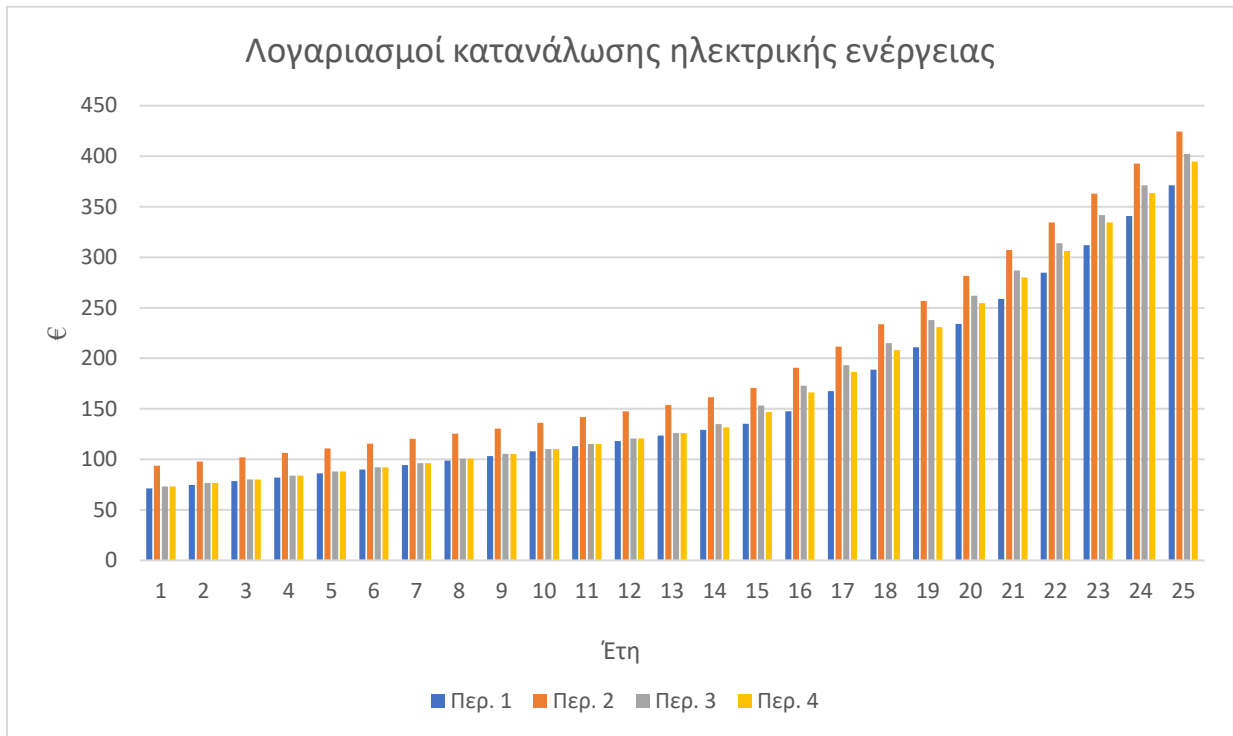
## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

| Έτη | Ενέργεια (kWh)      |                     |                     |           |           |                  |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|------------------|
|     | Μοντέλο 1<br>Περ. 3 | Μοντέλο 2<br>Περ. 1 | Μοντέλο 3<br>Περ. 1 | Μοντέλο 4 | Μοντέλο 5 | Ηλεκτρικό Φορτίο |
| 1   | 3589,2              | 3645,8              | 3537,4              | 3515,7    | 3524,5    | 3460,0           |
| 2   | 3571,1              | 3626,3              | 3519,7              | 3498,2    | 3506,8    | 3477,3           |
| 3   | 3553,0              | 3607,9              | 3502,1              | 3480,7    | 3489,3    | 3494,7           |
| 4   | 3534,9              | 3589,3              | 3484,6              | 3463,3    | 3471,9    | 3512,2           |
| 5   | 3516,8              | 3570,9              | 3467,2              | 3445,9    | 3454,5    | 3529,7           |
| 6   | 3498,7              | 3552,4              | 3449,8              | 3428,7    | 3437,2    | 3547,4           |
| 7   | 3480,5              | 3533,8              | 3432,6              | 3411,6    | 3420,0    | 3565,1           |
| 8   | 3462,4              | 3515,3              | 3415,4              | 3394,5    | 3402,9    | 3582,9           |
| 9   | 3444,3              | 3496,9              | 3398,3              | 3377,5    | 3385,9    | 3600,9           |
| 10  | 3426,2              | 3478,5              | 3381,3              | 3360,6    | 3369,0    | 3618,9           |
| 11  | 3408,0              | 3460,0              | 3364,4              | 3343,8    | 3352,1    | 3636,9           |
| 12  | 3389,9              | 3441,6              | 3347,6              | 3327,1    | 3335,4    | 3655,1           |
| 13  | 3371,8              | 3423,3              | 3330,9              | 3310,5    | 3318,7    | 3673,4           |
| 14  | 3353,7              | 3405,1              | 3314,2              | 3293,9    | 3302,1    | 3691,8           |
| 15  | 3335,5              | 3387,0              | 3297,6              | 3277,5    | 3285,6    | 3710,2           |
| 16  | 3317,4              | 3368,2              | 3281,2              | 3261,1    | 3269,2    | 3728,8           |
| 17  | 3299,2              | 3349,2              | 3264,7              | 3244,8    | 3252,8    | 3747,4           |
| 18  | 3281,1              | 3330,7              | 3248,4              | 3228,6    | 3236,6    | 3766,2           |
| 19  | 3263,0              | 3312,2              | 3232,2              | 3212,4    | 3220,4    | 3785,0           |
| 20  | 3244,8              | 3293,6              | 3216,0              | 3196,3    | 3204,3    | 3803,9           |
| 21  | 3226,7              | 3275,1              | 3199,9              | 3180,4    | 3188,3    | 3822,9           |
| 22  | 3208,5              | 3256,6              | 3183,9              | 3164,5    | 3172,3    | 3842,1           |
| 23  | 3190,4              | 3238,1              | 3168,0              | 3148,6    | 3156,5    | 3861,3           |
| 24  | 3172,2              | 3219,6              | 3152,2              | 3132,9    | 3140,7    | 3880,6           |
| 25  | 3154,1              | 3201,1              | 3136,4              | 3117,2    | 3125,0    | 3900,0           |

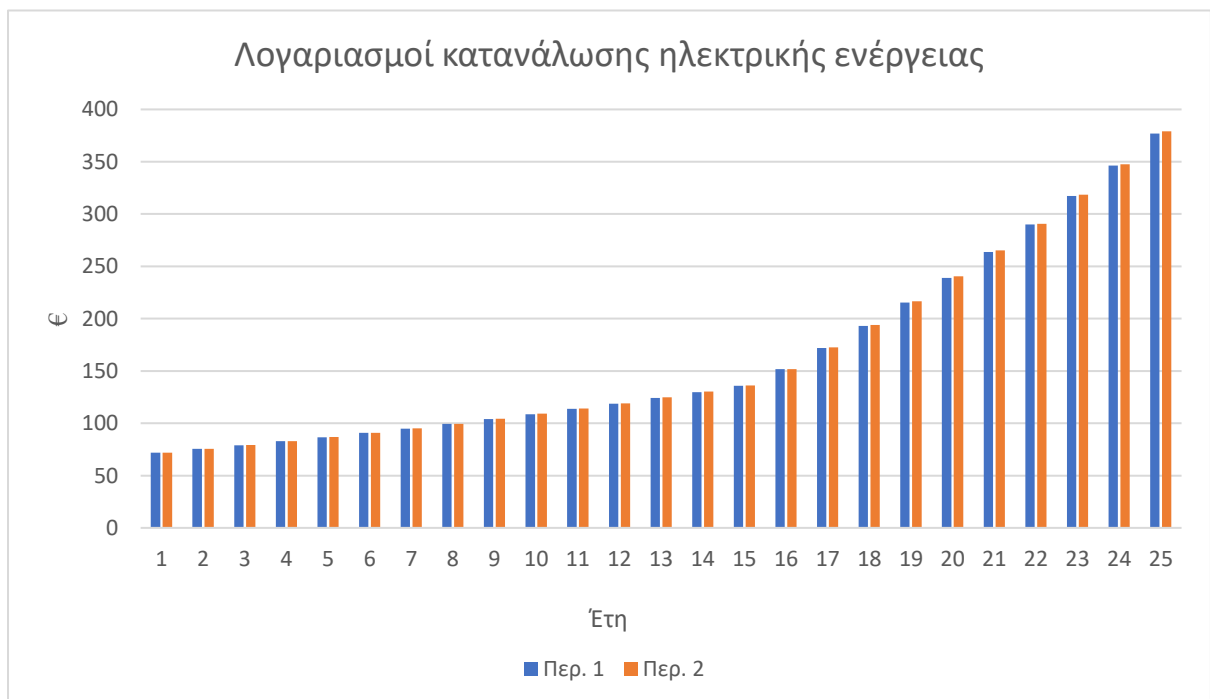
Πίνακας 5-2. Ετήσια παραγωγή ενέργειας συστημάτων των μοντέλων συγκεντρωτικά.

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

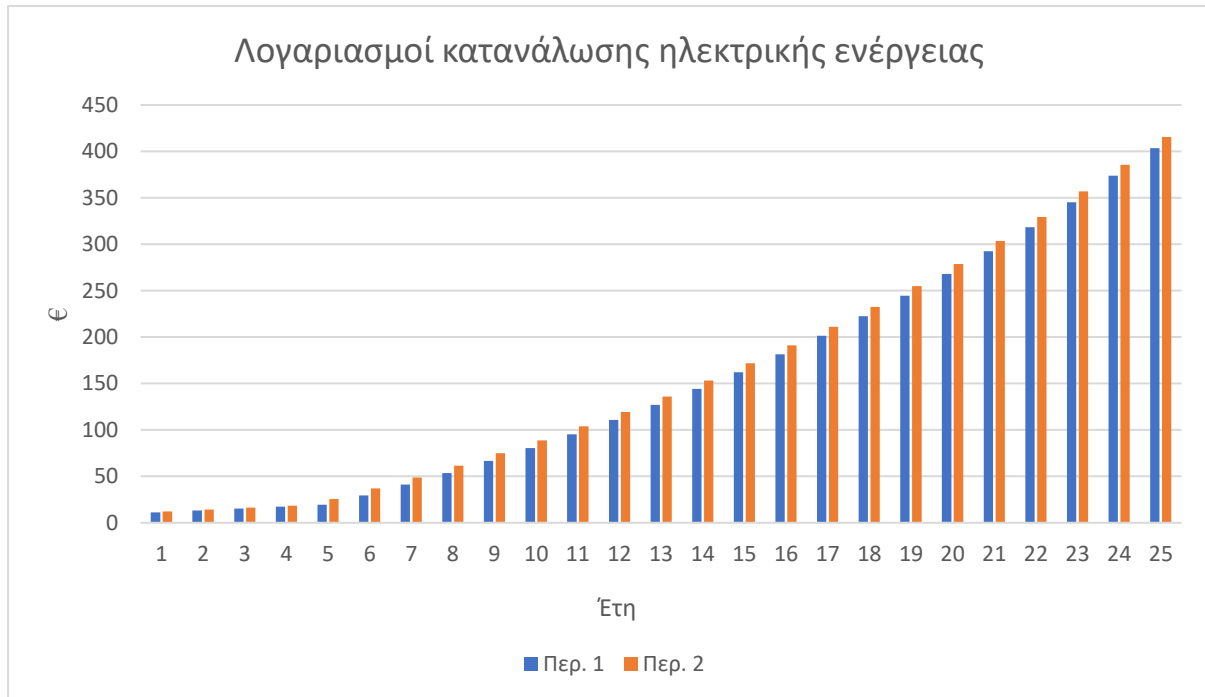
Στα διαγράμματα 5-13 έως 5-15 φαίνονται οι ετήσιοι λογαριασμοί ρεύματος της κατοικίας, για τις περιπτώσεις των μοντέλων 1, 2 και 3.



**Διάγραμμα 5-13. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (1<sup>ο</sup> μοντέλο).**

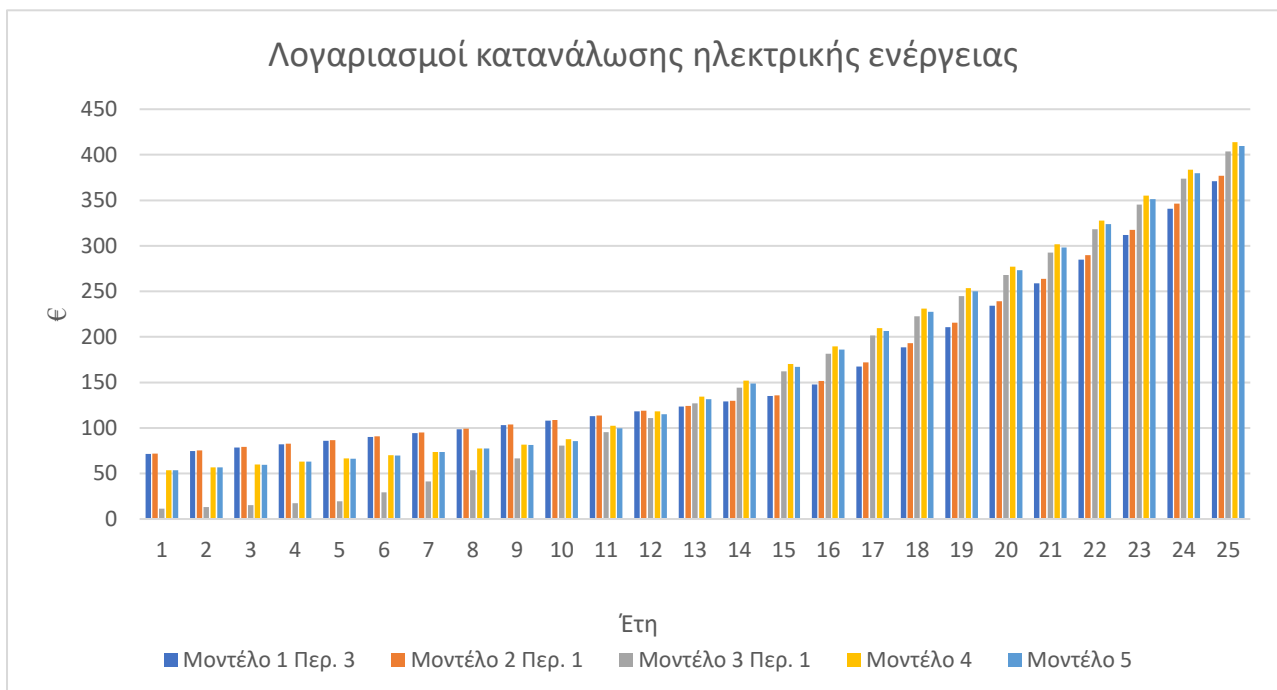


**Διάγραμμα 5-14. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (2<sup>ο</sup> μοντέλο).**



**Διάγραμμα 5-15. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας (3<sup>ο</sup> μοντέλο).**

Στο παρακάτω συγκεντρωτικό διάγραμμα 5-16 παρουσιάζονται οι ετήσιοι λογαριασμοί ηλεκτρικής ενέργειας της κατοικίας, από την καταλληλότερη περίπτωση κάθε μοντέλου. (Τα μοντέλα 4 και 5 έχουν από μία περίπτωση).



**Διάγραμμα 5-16. Λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος της κατοικίας συγκεντρωτικά.**

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

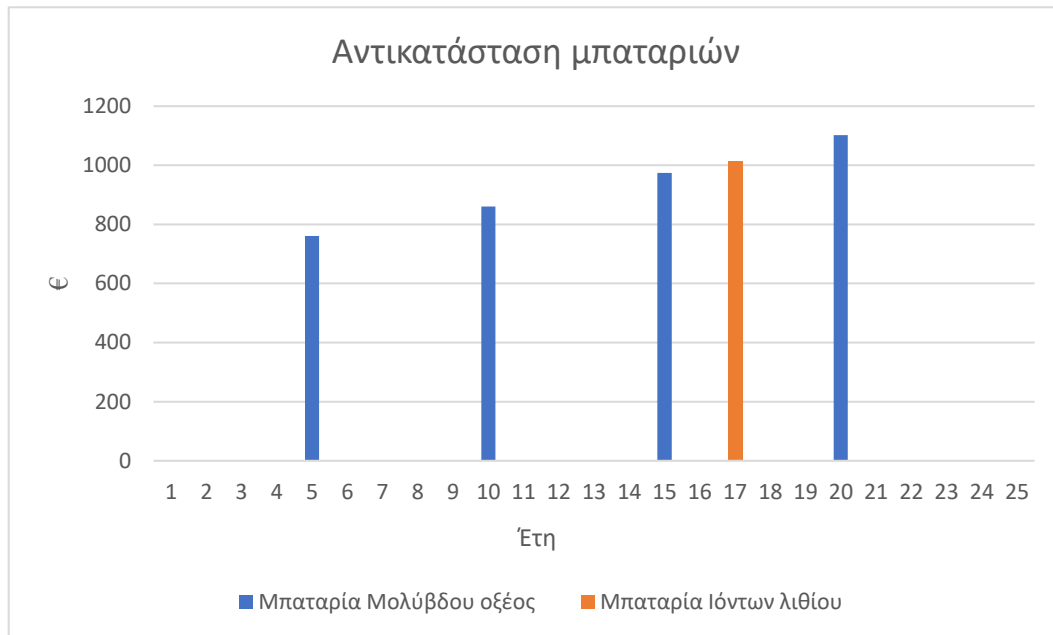
Στον πίνακα 5-3 φαίνεται η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων, λόγω των συστημάτων ΑΠΕ που επιλέχθηκαν στα μοντέλα για εγκατάσταση στην κατοικία. Δηλαδή τα οικονομικά κέρδη που έχει το νοικοκυριό, από τους μειωμένους λογαριασμούς ρεύματος ετησίως.

| Έτη    | Ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων (€) |                     |                     |           |           |
|--------|----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|
|        | Μοντέλο 1<br>Περ. 3              | Μοντέλο 2<br>Περ. 1 | Μοντέλο 3<br>Περ. 1 | Μοντέλο 4 | Μοντέλο 5 |
| 1      | 826                              | 828                 | 888                 | 846       | 846       |
| 2      | 855                              | 856                 | 918                 | 875       | 875       |
| 3      | 884                              | 885                 | 949                 | 904       | 904       |
| 4      | 914                              | 915                 | 981                 | 935       | 935       |
| 5      | 945                              | 946                 | 1013                | 966       | 967       |
| 6      | 977                              | 978                 | 1040                | 999       | 999       |
| 7      | 1011                             | 1012                | 1066                | 1033      | 1033      |
| 8      | 1045                             | 1046                | 1092                | 1068      | 1068      |
| 9      | 1081                             | 1082                | 1119                | 1104      | 1105      |
| 10     | 1117                             | 1119                | 1147                | 1140      | 1142      |
| 11     | 1156                             | 1157                | 1176                | 1168      | 1171      |
| 12     | 1195                             | 1197                | 1205                | 1197      | 1200      |
| 13     | 1236                             | 1237                | 1235                | 1227      | 1230      |
| 14     | 1275                             | 1280                | 1265                | 1258      | 1261      |
| 15     | 1306                             | 1323                | 1297                | 1289      | 1292      |
| 16     | 1338                             | 1359                | 1329                | 1321      | 1324      |
| 17     | 1370                             | 1392                | 1362                | 1354      | 1357      |
| 18     | 1404                             | 1426                | 1396                | 1387      | 1391      |
| 19     | 1438                             | 1460                | 1431                | 1422      | 1425      |
| 20     | 1472                             | 1495                | 1466                | 1457      | 1461      |
| 21     | 1508                             | 1532                | 1503                | 1493      | 1497      |
| 22     | 1545                             | 1569                | 1540                | 1531      | 1534      |
| 23     | 1582                             | 1606                | 1578                | 1569      | 1573      |
| 24     | 1620                             | 1645                | 1617                | 1608      | 1612      |
| 25     | 1659                             | 1685                | 1658                | 1648      | 1652      |
| Σύνολο | 30757                            | 31029               | 31271               | 30800     | 30855     |

Πίνακας 5-3. Ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων από τα συστήματα ΑΠΕ των μοντέλων.

## 5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων και Συζήτηση

Στο διάγραμμα 5-17 δείχνεται το έτος αντικατάστασης και το ποσό πληρωμής για αντικατάσταση, των μπαταριών των Φ/Σ του 2<sup>ου</sup> μοντέλου.



**Διάγραμμα 5-17. Αντικατάσταση μπαταριών 2<sup>ου</sup> μοντέλου.**

Στον συγκεντρωτικό πίνακα 5-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από όλες τις περιπτώσεις των μοντέλων που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα, ως προς την ετήσια παραγωγή ενέργειας των συστημάτων, το συνολικό κόστος τους, αλλά και τον χρόνο αποπληρωμής τους.

|                                      | Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων |                |                |                |                |                |                |                |           |           |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|
|                                      | Μοντέλο 1                       |                |                |                | Μοντέλο 2      |                | Μοντέλο 3      |                | Μοντέλο 4 | Μοντέλο 5 |
| Αριθμός Περίπτωσης                   | 1 <sup>η</sup>                  | 2 <sup>η</sup> | 3 <sup>η</sup> | 4 <sup>η</sup> | 1 <sup>η</sup> | 2 <sup>η</sup> | 1 <sup>η</sup> | 2 <sup>η</sup> | -         | -         |
| Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh) | 3435                            | 3327           | 3372           | 3389           | 3423           | 3421           | 3333           | 3308           | 3313      | 3321      |
| Συνολικό κόστος συστήματος (€)       | 6535                            | 7624           | 6439           | 6582           | 8077           | 11027          | 9500           | 14000          | 7335      | 8570      |
| Χρόνος αποπληρωμής (Έτη)             | 5,9                             | 7              | 5,8            | 5,9            | 7,3            | 8,1            | 7,4            | 10,7           | 8,2       | 9,6       |

**Πίνακας 5-4. Συγκεντρωτικός πίνακας μοντέλων.**

## 5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Κατά την ανάλυση του υποκεφαλαίου 5.2 γίνεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα μοντέλα που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά δεδομένα, καθώς παρατίθενται και οι μεθοδολογικές αδυναμίες της μελέτης.

Κατά το πρώτο μοντέλο, επιλέχθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος στην οροφή του κτιρίου και εκτελέστηκαν τέσσερις περιπτώσεις. Σύμφωνα με το διάγραμμα 5-9 και τον πίνακα 5-4, η μέγιστη ετήσια παραγωγή ενέργειας γίνεται με τα Φ/Β πλαίσια ονομαστικής ισχύος 200,1W, όπου είναι στραμμένα προς τον Νότο, σωστή κατεύθυνση σύμφωνα με την βιβλιογραφία για την γεωγραφική τοποθεσία του κτιρίου, ενώ η ελάχιστη ετήσια παραγωγή ενέργειας γίνεται πάλι από το ίδιο Φ/Σ, το οποίο όμως τη προκειμένη περίπτωση είναι στραμμένο προς την Ανατολή. Ο συντομότερος χρόνος αποπληρωμής μεταξύ των περιπτώσεων του μοντέλου, πραγματοποιείται με τα Φ/Β πλαίσια ονομαστικής ισχύος 215,1W, λόγω κόστους απόκτησης των συγκεκριμένων πλαισίων και του αριθμού τους. Τα Φ/Β πλαίσια ισχύος 200,1W που είναι προσανατολισμένα στην Ανατολή, για να παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια, χρειάζονται περισσότερα σε σχέση με τα πλαίσια των υπόλοιπων περιπτώσεων, οπότε αυξάνεται το κόστος απόκτησής τους και έχουν το μεγαλύτερο χρόνο αποπληρωμής σαν σύστημα. Συνοψίζοντας, στο πρώτο μοντέλο (Φ/Σ) επιλέγονται τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια ισχύος 215,1W ως τα πιο κατάλληλα για το σύστημα, καθώς παράγεται η απαιτούμενη ενέργεια, με την πιο σύντομη αποπληρωμή. Για το λόγο αυτόν επιλέχθηκε το συγκεκριμένο σύστημα να παρουσιαστεί ως αντιπροσωπευτικό του πρώτου μοντέλου στα συγκεντρωτικά διαγράμματα και πίνακες του υποκεφαλαίου 5.1.

Κατά το δεύτερο μοντέλο, εγκαταστάθηκε φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία στην οροφή του κτιρίου και εκτελέστηκαν δύο περιπτώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το ίδιο φωτοβολταϊκό σύστημα και η διαφορά τους έγκειται στον τύπο της μπαταρίας που συνδέθηκε στο σύστημα. Αφού εγκαταστάθηκε το ίδιο φωτοβολταϊκό σύστημα και στις δύο περιπτώσεις, η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι η ίδια. Στην περίπτωση όπου επιλέχθηκε μπαταρία ιόντων λιθίου για το σύστημα, παρατηρείται ότι η αποπληρωμή είναι αρκετά πιο σύντομη σε σχέση με το σύστημα με τη μπαταρία μολύβδου οξέος (5-4). Αυτό συμβαίνει, καθώς η μπαταρία ιόντων λιθίου αντικαθίσταται μία φορά κατά την διάρκεια ζωής του έργου με κόστος 1013€, ενώ η μπαταρία μολύβδου οξέος αντικαθίσταται τέσσερις φορές κατά την 25ετία, με συνολικό κόστος 3698€ (5-17). Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προτείνονται από την βιβλιογραφία για Φ/Σ, καθώς είναι ελαφρύτερες και πιο συμπαγείς από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά είναι πιο ακριβές σε σχέση με τις μολύβδου οξέος. Από το δεύτερο μοντέλο λοιπόν (Φ/Σ με μπαταρία), επιλέχθηκε η περίπτωση με τη μπαταρία ιόντων λιθίου ως η πιο κατάλληλη για το σύστημα, καθώς έχει συντομότερη αποπληρωμή. Γι αυτό παρουσιάζεται και ως αντιπροσωπευτική του μοντέλου στα συγκεντρωτικά διαγράμματα του υποκεφαλαίου 5.1.

Στο τρίτο μοντέλο (μικρή ανεμογεννήτρια) έγιναν επίσης δύο περιπτώσεις. Στη μία περίπτωση εγκαταστάθηκε μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα στην οροφή του κτιρίου, ενώ στην άλλη δύο μικρότερες. Η λειτουργία των ανεμογεννητριών μπορεί να επηρεαστεί από δέντρα, εμπόδια ή κτίρια που βρίσκονται κοντά τους σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Στις περιπτώσεις που εκτελέστηκαν στο μοντέλο, οι ανεμογεννήτριες εγκαταστάθηκαν σε τέτοιο ύψος όπου δεν υπήρχαν σημαντικές οχλήσεις από γειτονικά κτίρια ή άλλα εμπόδια. Στον



πίνακα 5-4 παρατηρούμε ότι για σχεδόν ίδια παραγωγή ενέργειας, το κόστος του συστήματος των δύο ανεμογεννητριών είναι αρκετά μεγαλύτερο από το κόστος του συστήματος της μίας ανεμογεννήτριας. Ως αποτέλεσμα αυτού, είναι ο σημαντικά αυξημένος χρόνος αποπληρωμής του συστήματος των δύο ανεμογεννητριών σε σχέση με τη μία. Έτσι επιλέχθηκε η μία ανεμογεννήτρια ως η πιο κατάλληλη για το σύστημα, καθώς έχει πιο σύντομη αποπληρωμή και γι' αυτό παρουσιάζεται και ως αντιπροσωπευτική του μοντέλου στα συγκεντρωτικά διαγράμματα του υποκεφαλαίου 5.1.

Στο τέταρτο μοντέλο, κατά το οποίο συνδυάστηκαν συστήματα ΑΠΕ για εγκατάσταση στην κατοικία, παρατηρούμε από τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων του υποκεφαλαίου 5.1, ότι τα συστήματα δουλεύουν ικανοποιητικά μαζί και ο χρόνος αποπληρωμής είναι σε φυσιολογικά επίπεδα.

Στο πέμπτο μοντέλο, στο οποίο επιλέχθηκε ο ίδιος συνδυασμός συστημάτων ΑΠΕ αντίστοιχα με το τέταρτο μοντέλο (Φ/Σ με μικρή ανεμογεννήτρια), υπάρχει η προσθήκη της μπαταρίας. Φαίνεται από τα διαγράμματα του υποκεφαλαίου 5.1 ότι τα συστήματα ΑΠΕ εξακολουθούν να λειτουργούν ικανοποιητικά μαζί, αλλά λόγω του κόστους της μπαταρίας ο χρόνος αποπληρωμής του συστήματος είναι αυξημένος.

Συγκεντρωτικά, στα 5 μοντέλα παρατηρείται ότι το οικονομικότερο σύστημα, είναι το Φ/Σ με τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 215,1W. Παράλληλα είναι και το σύστημα με την γρηγορότερη αποπληρωμή. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος αποπληρωμής των συστημάτων δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα ενέργειας που παράγουν και του κόστους εγκατάστασής τους, αλλά και από άλλες παραμέτρους όπως το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των συστημάτων κατά την διάρκεια ζωής τους (25ετίας).

Κατά την μοντελοποίηση της κατοικίας στο πρόγραμμα υπήρξαν ορισμένες μεθοδολογικές αδυναμίες. Στο τρίτο μοντέλο η εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα στην οροφή του κτιρίου (και αντίστοιχα στα συνδυαστικά μοντέλα 4 και 5), δεν είναι προτεινόμενη μέθοδος εφαρμογής συστήματος ΑΠΕ σε κτίριο. Ο λόγος είναι, ότι η λειτουργία της ανεμογεννήτριας επηρεάζεται αρνητικά από την τύρβη που δημιουργεί το ίδιο το κτίριο. Επίσης στα μοντέλα 3, 4, και 5 όπου έγινε εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας, επιλέχθηκε κατανομή Weibull για την ταχύτητα του ανέμου της περιοχής και δεν εισήχθησαν στο πρόγραμμα δεδομένα καιρού. Θα είχε ενδιαφέρον να δούμε σε μελλοντικές εργασίες πως θα συμπεριφερόντουσαν σε αντίστοιχη περίπτωση ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα και αν θα ήταν πιο αποτελεσματικές σε σχέση με της ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Τέλος, το πρόγραμμα SAM χρησιμοποιεί το νόμισμα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, δολάριο (USD), και όλοι οι χρηματοοικονομικοί υπολογισμοί και αποτελέσματα δίνονται σε αυτό. Για τον λόγο ότι η μελέτη στη παρούσα εργασία γίνεται σε χρονικό διάστημα όπου η ισοτιμία ευρώ (€) με δολάριο (USD) είναι ίση, τα χρηματοοικονομικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην εργασία δόθηκαν σε ευρώ.

## 6 Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

### 6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η εγκατάσταση συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε διασυνδεδεμένα κτίρια, για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.

Αρχικά, αφού παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα απαραίτητα στοιχεία θεωρίας, έγινε μια αναφορά των συνηθέστερων συστημάτων ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στον κτιριακό τομέα, δηλαδή φωτοβολταϊκό σύστημα, φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία και μικρή ανεμογεννήτρια, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

Έπειτα, επιλέχθηκε σαν παράδειγμα κτιρίου για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων μια κατοικία στην περιοχή της Πετρούπολης. Για την μοντελοποίηση της κατοικίας στο πρόγραμμα SAM έγιναν 5 μοντέλα. Μετά την διαδικασία διαστασιολόγησης των συστημάτων ΑΠΕ στα μοντέλα, την επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων και παραμέτρων για το κάθε σύστημα, αποδείχθηκε πως ένα τέτοιο σύστημα μπορεί όχι απλά να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές απαιτήσεις που έχει η κατοικία, αλλά και να συμφέρει οικονομικά η επιλογή του, σε σχέση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

Συγκριτικά για τα συστήματα που επιλέχθηκαν στα μοντέλα για εγκατάσταση στην κατοικία, παρατηρείται ότι το οικονομικότερο από αυτά και με την πιο σύντομη αποπληρωμή, είναι η περίπτωση του Φ/Σ με τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 215,1W, με συνολικό κόστος 6439€ και χρόνο αποπληρωμής συστήματος μόλις 5,8 έτη. Αντίθετα, παρατηρούμε ότι όταν επιλέχθηκαν δύο μικρές ανεμογεννήτριες στην οροφή του κτιρίου για την παραγωγή ενέργειας, είχαμε το υψηλότερο κόστος συστήματος του ύψους των 14000€ και χρόνο αποπληρωμής 10,7 έτη. Όσον αφορά τα μοντέλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία, το κόστος τους αυξάνεται σε σχέση με τα απλά φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω της μπαταρίας που χρησιμοποιούν. Ένα τέτοιο σύστημα θα είχε αρκετό ενδιαφέρον σε περίπτωση που υπάρχει επιδοτούμενο πρόγραμμα από το κράτος για τις μπαταρίες.

Εν κατακλείδι, το πόρισμα που συνεπάγεται από την παρούσα μελέτη είναι πως με το κατάλληλο σύστημα ΑΠΕ και τα κατάλληλα κριτήρια, το κάθε κτίριο έχει την δυνατότητα να παράγει την ενέργεια που χρειάζεται επιτόπου και να συμφέρει οικονομικά αυτή η επιλογή, σε σχέση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά, λόγω του ότι τα τελευταία χρόνια η απόδοσή τους συνεχίζει να μεγαλώνει, ενώ το κόστος κατασκευής τους να μειώνεται, είναι από τις πιο διαδεδομένες και συμφέρουσες επιλογές για εγκατάσταση σε κτίριο. Αυτό αποδείχτηκε και στη συγκεκριμένη διπλωματική, καθώς ήταν το καταλληλότερο σύστημα και η πιο συμφέρουσα επιλογή για την κατοικία μελέτης. Οι μικρές ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, παρ' όλο που κατάφεραν να παράγουν τα επιθυμητά ποσά ενέργειας για την κατοικία, αντενδείκνυται η χρήση τους σε αστικό ιστό και τα κόστη των συστημάτων τους είναι σημαντικά αυξημένα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά και τα φωτοβολταϊκά με μπαταρία. Όσον αφορά τον συνδυασμό των τεχνολογιών ΑΠΕ στα μοντέλα 4 και 5, έχουν αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, λόγω χρήσης παραπάνω συστημάτων και δεν θα προτεινόταν για κτίρια και κατοικίες με μικρές καταναλώσεις, όπως η κατοικία μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας.

## 6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα μελέτη ξεκίνησε από το μηδέν και αφορούσε μια διερεύνηση σχετικά με εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ σε κτίρια, ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές τους ανάγκες.

Εφόσον τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από τα μοντέλα που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα στέφθηκαν με επιτυχία, το εγχείρημα για υλοποίηση κάποιων από τα συστήματα στην πράξη αποτελεί λογικό επακόλουθο. Όταν γίνει αυτό, ενδέχεται να απαιτηθούν αλλαγές στη διάταξη και μοντελοποίηση των συστημάτων.

Πέρα όμως από την πραγματική εγκατάσταση των συστημάτων σε κτίρια, υπάρχουν και άλλοι τομείς που χρειάζονται περεταίρω διερεύνηση και θα είχε αρκετό ενδιαφέρον να μελετηθούν. Όπως η ενδελεχής ανάλυση για τα κόστη εφαρμογής και λειτουργίας των συστημάτων, καθώς και ο χρόνος αποπληρωμής τους, ώστε να υπάρχει σφαιρική εικόνα και κάλυψη για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος.

Κατά την επιλογή του τρίτου μοντέλου στο πρόγραμμα εγκαταστάθηκε μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα στην οροφή του κτιρίου. Θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί η λειτουργία ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα σε αντίστοιχη περίπτωση και αν θα ήταν προτιμότερη επιλογή.

Η μελέτη εγκατάστασης άλλων τεχνολογιών και συστημάτων ΑΠΕ εκτός από φωτοβολταϊκά, φωτοβολταϊκά με μπαταρία και μικρή ανεμογεννήτρια, όπως γεωθερμική αντλία και καυστήρες βιομάζας, θα ήταν ένα θέμα αντίστοιχο της παρούσας εργασίας και θα είχε αξία να μελετηθεί.

Τέλος, θα παρουσίαζε εξαιρετικό ενδιαφέρον η ανάλυση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατοικίας της συγκεκριμένης εργασίας, μετά την εγκατάσταση των διαφορετικών συστημάτων ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση της ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που μειώνεται, λόγω της εγκατάστασης των συστημάτων ΑΠΕ στην κατοικία.

## 7 Βιβλιογραφία

ArchDaily, 2022. *TVZEB Zero Energy Building / traverso - vighy architetti*.

cres, 2002. *ΚΑΠΕ εφαρμογές*. [www.cres.gr](http://www.cres.gr) [10/2022].

DiOrto Nicholas, D. A. J. S. N. A. L. B., 2015. *Technoeconomic Modeling of Battery Energy Storage in SAM*, Golden: National Renewable Energy Laboratory.

Freeman Janine, J. J., 2014. *Reference Manual for the System Advisor Model's Wind Power Performance Model*, Golden: National Renewable Energy Laboratory.

Nate Blair, N. D. J. F. P. G. S. J. T. N. M. W., 2018. *System Advisor Model (SAM) General Descriprion (Version 2017.9.5)*, Golden: National Renewable Energy Laboratory.

NSRDB, 2022. *National Solar Radiation Database*. [www.nsrdb.nrel.gov/data-viewer](http://www.nsrdb.nrel.gov/data-viewer) [10/2022].

P., G., 2015. *SAM Photovoltaic Model Technical Reference*, Golden: National Renewable Energy Laboratory.

Qiran Cai, Q. X. J. Q. G. S. Q.-M. L., 2022. *Promoting wind and photovoltaics renewable energy integration through demand response: Dynamic pricing mechanism design and economic analysis for smart residential communities*, Beijing

Rajan Kumar Jaysawal, S. C. D. E. S. P., 2022. *Concept of net zero energy buildings (NZEB) - A literature review*, Tamil Nadu: Elsevier Ltd.

Rajib Sinha, M. L. B. F., 2016. *Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study*, Stockholm

Sheng Zhang, P. O. J. J. K. P. M. K. P. K. P., 2022. *Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage*, Krakow: Elsevier Ltd.

Short Walter, P. D. J. H. T., 1995. *A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and REnewable Energy Technologiew*, Golden: National Renewable Energy Laboratory .

Sirje Vares, T. H. J. K. J. S. N. J., 2019. *Impact of renewable energy technologies on the embodied and operational GHG emissions of a nearly zero energy building*, Espoo.

Yaris Khan, H. O. F. Z. E., 2022. *The effect of renewable energy sources on carbon dioxide emissions: Evaluating the role of goverance, and ICT in Morocco*, Agidar.

Δρής, Μ., 1966. *Ενέργεια (πηγές-εφαρμογές-εναλλακτικές λύσεις)*, Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

Δελτίο Τύπου Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, 14<sup>ης</sup> Μαρτίου 2023, Το Κοινοβούλιο εγκρίνει τα σχέδια για έναν κλιματικά ουδέτερο κτιριακό τομέα έως το 2050.

ΕΛΕΤΑΕΝ, 2022. *Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας*.  
[www.eletaen.gr/hwea-wind-statistics/](http://www.eletaen.gr/hwea-wind-statistics/) [10/2022].

Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Οδηγία 93/76/ΕΟΚ, του συμβουλίου της 13<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1993, Για τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE).

Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Οδηγία 89/106/ΕΟΚ, του συμβουλίου της 21<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1988, Για την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών όσον αφορά τα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών.

Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, 22 Φεβρουαρίου 2023, Τεύχος δεύτερο, Αριθμός φύλλου 923, Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/18393/686.

Κ.Α.Π.Ε., 1998. Αιολική Ενέργεια. Στο: *Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*. Αθήνα.

Κολοκοτσά, Δ., 2010. Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης, διεθνής εμπειρία και μελέτες περίπτωσης.

Κοσμόπουλος Πάνος, Π. Α., 2017. *Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας*.  
s.l.:UNIVERSITY STUDIO PRESS.

Λάζαρη Ε., Τ. Ε., 2002. *Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής*, Πικέρμι.

Οδηγία 2010/31/ΕΕ, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19<sup>ης</sup> Μαΐου 2010, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

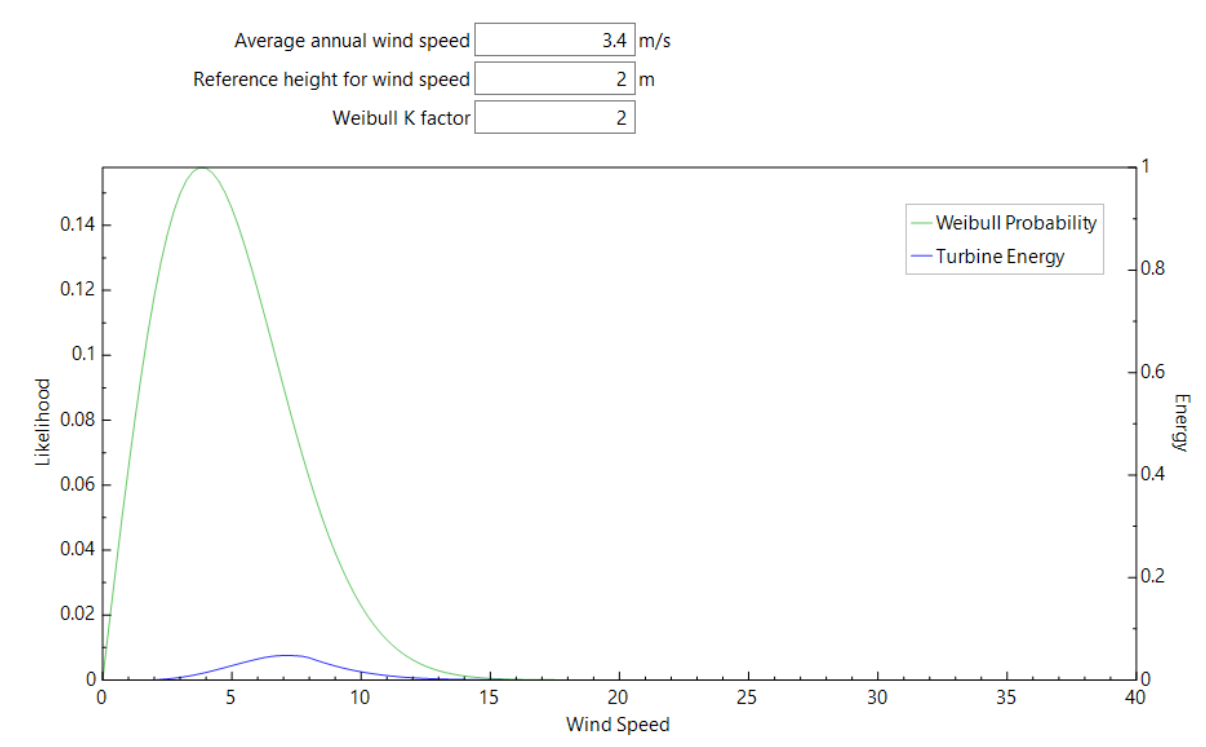
Οδηγία 92/42/ΕΟΚ, του Συμβουλίου της 21<sup>ης</sup> Μαΐου 1992, Σχετικά με τις απαιτήσεις απόδοσης για τους νέους λέβητες ζεστού νερού που τροφοδοτούνται με υγρά ή αέρια καύσιμα.

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1, 2017. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.

## Παραρτήματα

Ο ενεργειακός συμψηφισμός (net metering) είναι η διοχέτευση της τοπικά παραγόμενης ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στο δίκτυο, ενώ η καταναλισκομένη ενέργεια απορροφάται επίσης από το δίκτυο. Έτσι το δίκτυο χρησιμοποιείται ουσιαστικά για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, η οποία μέσω του συμψηφισμού ο οποίος γίνεται στο τέλος μιας περιόδου μέτρησης καταναλώνεται τοπικά.

Στη θεωρία των πιθανοτήτων και τη στατιστική, η κατανομή Weibull είναι μια συνεχής κατανομή πιθανοτήτων. Μοντελοποιεί ένα ευρύ φάσμα τυχαίων μεταβλητών σε μεγάλο βαθμό, στον χρόνο μέχρι την αποτυχία ή τον χρόνο μεταξύ των γεγονότων.



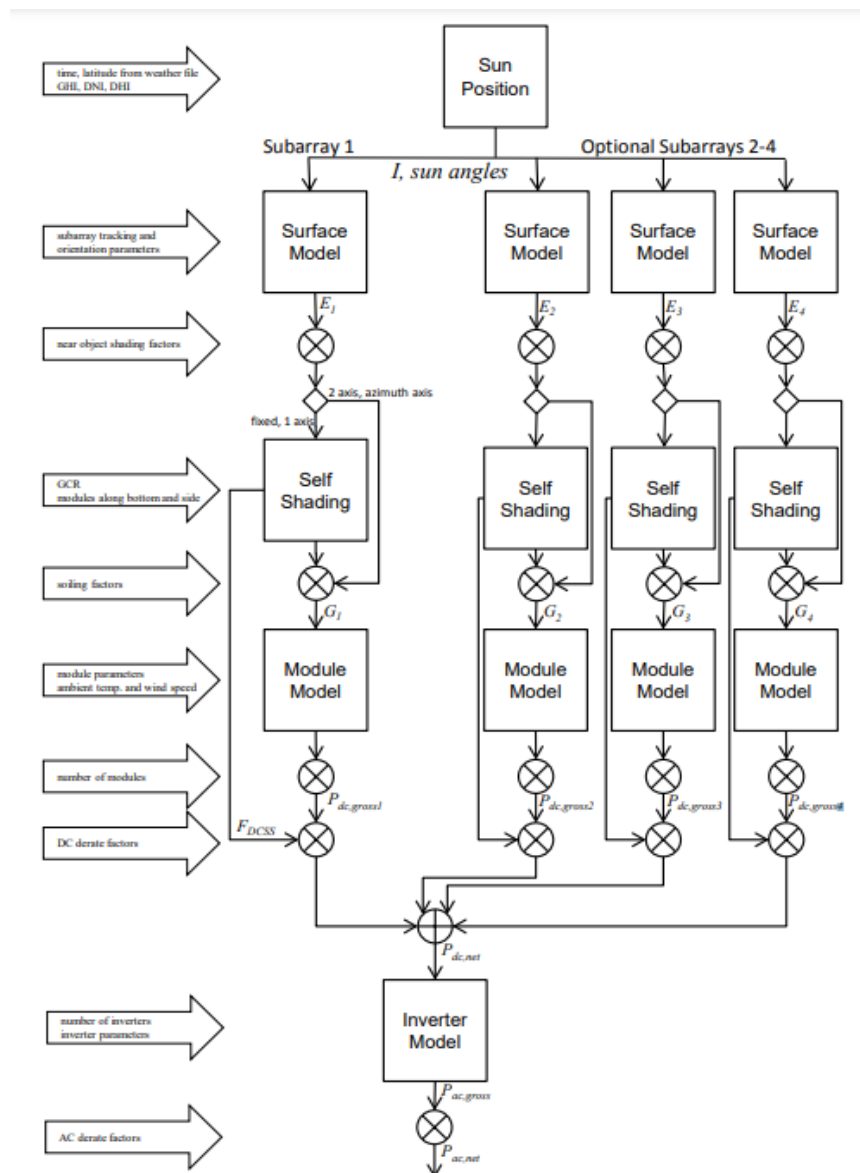
**Εικόνα A-0-1. Κατανομή Weibull για δεδομένα ανέμου (μοντέλα με ανεμογεννήτρια).**

Παράδειγμα διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος:



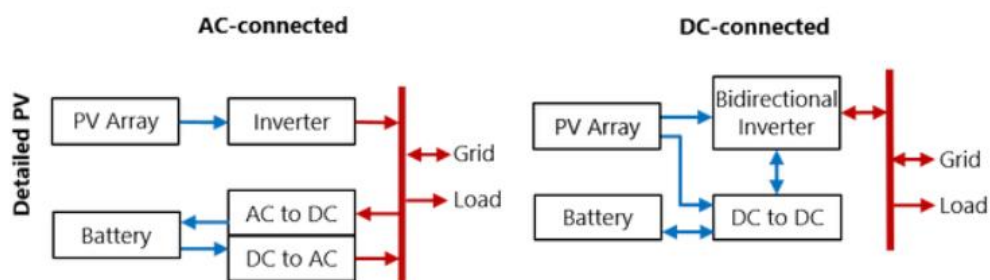
**Εικόνα A-0-2. Παράδειγμα διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος.**

Σχηματικό διάγραμμα μοντέλου φωτοβολταϊκού συστήματος στο SAM:

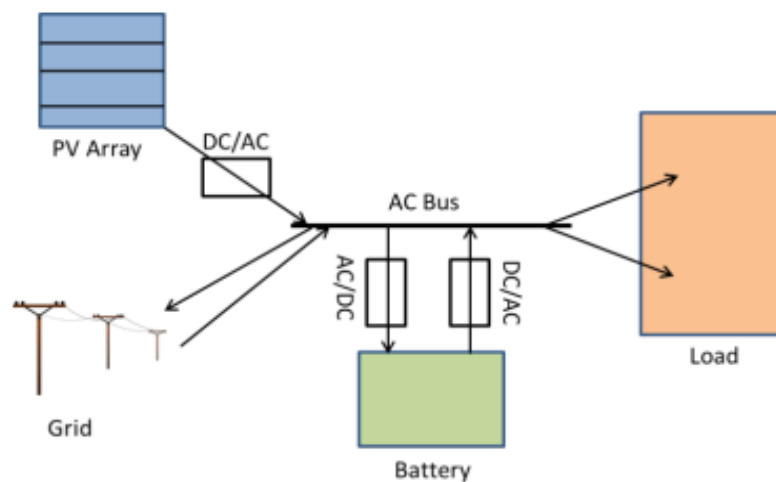


**Εικόνα A-0-3. Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα μοντέλου φωτοβολταϊκού συστήματος στο SAM.**

Παραδείγματα διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία:



**Εικόνα A-0-4. Σχηματική απεικόνιση διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία (α).**

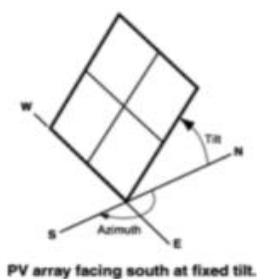


Εικόνα A-0-5. Σχηματική απεικόνιση διάταξης φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρία (β).

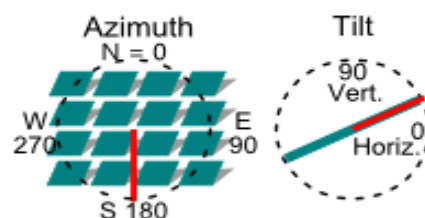
Προσανατολισμός συστημάτων ΑΠΕ στο SAM σύμφωνα με τις παρακάτω απεικονίσεις:

#### Fixed

The subarray is fixed at the tilt and azimuth angles defined by the values of **Tilt** and **Azimuth** and does not follow the sun's movement.



Εικόνα A-0-6. Προσανατολισμός φωτοβολταϊκού πλαισίου.



Εικόνα A-0-7. Κατεύθυνση και προσανατολισμός.