



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Βιώσιμος Σχεδιασμός Εσωτερικού
Περιβάλλοντος Κτιρίων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ
(NET BILLING) ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΕ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Κολλάρος Χαράλαμπος

Επιβλέποντες Καθηγητές: Τρύφων Ρουμπεδάκης/ Γεώργιος Πανάρας

Πάτρα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΣΜΕΝΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ (NET
BILLING) ΣΤΗΝ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΖΕΥΞΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΕ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Κολλάρος Χαράλαμπος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Τρύφων Ρουμπεδάκης

Γεώργιος Πανάρας

Επίκουρος Καθηγητής. Ε.Μ.Π.

Αναπληρωτής Καθηγητής. Α.Π.Θ.

ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2026

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν, με τον τρόπο τους, στην πραγματοποίησή της.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τη σύζυγό μου Γεωργία και τα τρία μου παιδιά Λυκούργο, Λαέρτη και το μικρό μας Λοΐζο για την αμέριστη αγάπη, την υπομονή, την κατανόηση και τη διαρκή στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συμπαράστασή τους αποτέλεσε για εμένα πηγή δύναμης και έμπνευσης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Συντονιστή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Ρουμπεδάκη Τρύφωνα, καθώς και στον καθηγητή κ. Πλάτωνα Πάλλη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις εύστοχες επιστημονικές συμβουλές, τη διαθεσιμότητα και την ουσιαστική υποστήριξή τους σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της εργασίας. Η συμβολή τους υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωσή της.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλους τους διδάσκοντες του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών για τις γνώσεις και τα εφόδια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει σε τεchnοοικονομικούς όρους τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού (Φ/Β) συστήματος σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας (Α/Θ) για την κάλυψη των θερμικών αναγκών μιας μονοκατοικίας 220m² στο Ηράκλειο Κρήτης. Η ανάλυση πραγματοποιείται υπό το νέο θεσμικό πλαίσιο του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού ενέργειας (net-billing). Με τον τρόπο αυτό, η εργασία εστιάζει στην πρακτική διαστασιολόγηση και στη βιωσιμότητα της επένδυσης υπό καθεστώς netbilling, και όχι σε συγκριτική αξιολόγηση όλων των πιθανών σχημάτων συμψηφισμού.

Κεντρικός άξονας της έρευνας είναι η σύγκριση τριών διαφορετικών σεναρίων διαστασιολόγησης και λειτουργίας:

- Ένα Φ/Β σύστημα που καλύπτει τις άμεσες, ταυτοχρονισμένες ανάγκες της αντλίας θερμότητας.
- Ένα υπερδιαστασιολογημένο Φ/Β σύστημα, όπου η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο για να αντισταθμίσει το κόστος αγοράς ενέργειας τις ώρες χωρίς ηλιοφάνεια.
- Ένα Φ/Β σύστημα συνδυασμένο με συσσωρευτές (μπαταρίες) για την αποθήκευση και χρήση της ενέργειας κατά τις νυχτερινές ώρες.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση ωριαίων κλιματικών δεδομένων και την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και του συστήματος θέρμανσης μέσω του υπολογιστικού εργαλείου TRNSYS. Η οικονομική βιωσιμότητα κάθε σεναρίου αξιολογείται με τους δείκτες της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV), του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) και της Εντόκου Περιόδου Αποπληρωμής (ΕΠΑ), λαμβάνοντας υπόψη τρέχουσες τιμές αγοράς εξοπλισμού και ενέργειας.

Η εργασία εδράζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία αναδεικνύει την έλλειψη αντίστοιχων μελετών για την κλιματική ζώνη Α της Ελλάδας υπό το καθεστώς του net-billing. Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα και σχολιάζονται οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν τη βιωσιμότητα του βέλτιστου σεναρίου.

Στόχος είναι να προσδιοριστεί η βέλτιστη επενδυτική στρατηγική για τον αυτοκαταναλωτή, να αναδειχθεί η συνεισφορά της μελέτης στην επιστημονική κοινότητα και να προταθούν πεδία για περαιτέρω έρευνα.

Λέξεις – Κλειδιά

Ταυτοχρονισμένος συμψηφισμός, ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά σε κτήρια, αντλία θερμότητας, βιωσιμότητα.

THE EFFECT OF NET BILLING ON THE VIABILITY OF INTEGRATING PV SYSTEMS WITH HEAT PUMPS

CHARALAMPOS KOLLAROS

Abstract

This thesis examines the techno-economic viability of installing a photovoltaic (PV) system coupled with a heat pump (HP) to cover the heating needs of a 220m² single-family house in Heraklion, Crete. The analysis is conducted under the new institutional framework of simultaneous energy compensation (net-billing).

The core of the research is the comparison of three different sizing and operational scenarios:

- A PV system sized to cover the direct, simultaneous needs of the heat pump.
- An oversized PV system, where surplus energy is sold to the grid to offset the cost of purchasing energy during non-sunlight hours.
- A PV system combined with accumulators (batteries) for storing and using energy during night-time hours.

The methodology involves the use of hourly climatic data and the simulation of the building's and heating system's energy behavior using the TRNSYS computational tool. The economic viability of each scenario is evaluated using the indicators of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Discounted Payback Period (DPP), considering current market prices for equipment and energy.

The thesis is based on an extensive literature review, which highlights the lack of similar case studies for the climatic zone of Greece under the net-billing scheme. Finally, the results are compared and the parameters that affect the viability of the optimal scenario are commented on.

The aim is to determine the optimal investment strategy for the prosumer, highlight the study's contribution to the scientific community, and propose areas for further research.

Keywords

Net Billing, Building-Integrated Photovoltaics (BIPV), Heat Pump, viability, sustainability

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων / Διαγραμμάτων	xii
Κατάλογος Πινάκων	xv
Εισαγωγή.....	1
1. Τεχνολογίες συστημάτων ΑΠΕ και ενεργειακός συμψηφισμός.....	6
1.1. Αντλίες θερμότητας σε συνεργασία με ΑΠΕ.....	6
1.2. Τεχνολογίες Φ/Β συστημάτων	7
1.2.1. Φ/Β στοιχεία.....	8
1.2.2. Ηλιοθερμικοί συλλέκτες	11
1.2.3. Υβριδικός φωτοβολταϊκός-θερμικός συλλέκτης (PV/T)	12
1.3. Συσσωρευτές Ενέργειας.....	16
1.4. Το Net – metering	20
1.5. Το Net-Billing	21
1.6. Ανάγκες και προκλήσεις στη μετάβαση από το Net – metering στο Net – Billing	23
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	25
2.1. Αναζήτηση και επισκόπηση αναφορών	25
2.1.1. Οι βάσεις δεδομένων.....	25
2.1.2. Οι πηγές και η επιλογή τους.....	25
2.1.3. Η οργάνωση της βιβλιογραφίας	26
2.2. Θεωρητική προσέγγιση	28
2.3. Μελέτες περίπτωσης και προβληματισμοί.....	30
3. Μεθοδολογία - Στόχοι.....	36

3.1. Το ερευνητικό θέμα.....	36
3.2. Το ερευνητικό πρόβλημα	36
3.3. Ο σκοπός της εργασίας	37
3.4. Ερευνητικά ερωτήματα - Σενάρια.....	38
3.5. Η Μεθοδολογική προσέγγιση	43
3.6. Σχεδιασμός επίλυσης.....	44
3.7. SWOT analysis.....	46
4. Δεδομένα μελέτης – Προσομοίωση φορτίου θέρμανσης/ ψύξης - Διαστασιολόγηση ...	49
4.1. Κλιματικά δεδομένα.....	49
4.2. Κτήριο μελέτης και χαρακτηριστικά του	49
4.2.1. Συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης	49
4.2.2. Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κτηρίου	50
4.2.3. Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης – ψύξης και Φ/Β	52
4.3. Ωριαία δεδομένα φορτίου θέρμανσης/ψύξης.....	56
4.4. Διαστασιολόγηση – Κοστολόγηση	60
4.4.1. Κοστολόγηση συστημάτων Φ/Β – Συσσωρευτών	60
4.4.2. Διαστασιολόγηση Φ/Β συστοιχίας και συσσωρευτών.....	60
5. Τεχνοοικονομική ανάλυση περιπτώσεων	73
5.1.1. Κοστολόγηση Ενέργειας και συστημάτων Φ/Β – Συσσωρευτών.....	73
5.1.2. Τεχνοοικονομικοί συντελεστές	74
5.1.3. Αποτελέσματα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης.....	75
6. Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	78
6.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων ταυτοχρονισμού.....	78
6.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων τεχνοοικονομικής μελέτης.....	85
7. Συμπεράσματα – Προτάσεις μελλοντικής έρευνας.....	90

Βιβλιογραφικές Αναφορές	93
Παράρτημα Α: Σχέδια	98
Παράρτημα Β: Εικόνες	99
Παράρτημα Γ: Στιγμιότυπα Υπολογιστικού Εργαλείου	102

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων / Διαγραμμάτων

Εικόνα 1 Συγκριτικός πίνακας σύζευξης ASHP με τεχνολογίες ΑΠΕ ως προς το μέσο COP από μελέτες σε διάφορα μέρη του κόσμου (Wang et al., 2020).....	7
Εικόνα 2 Κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών Φ/Β πλαισίων (Diwania et al., 2020).....	8
Εικόνα 3 Σύγκριση και χρήσεις μεταξύ PV, PV/T και Ηλιακών συλλεκτών (Kamel et al., 2015).....	13
Εικόνα 4 Κατηγοριοποίηση PV/T νερού ανάλογα με το είδος ροής. (Diwania et al., 2020)	15
Εικόνα 5 Κατηγοριοποίηση PV/T αέρα ανάλογα με το είδος ροής. (Diwania et al., 2020)	16
Εικόνα 6 Οπτικοποίηση λέξεων κλειδιά με το VOSviewer.....	27
Εικόνα 7 Οπτικοποίηση αρθρογράφων με το VOSviewer	27
Εικόνα 8 Κάτοψη εξεταζόμενου κτηρίου	98
Εικόνα 9 Βόρεια Όψη – Λήψη ΒΑ	99
Εικόνα 10 Βόρεια Όψη – Λήψη ΒΔ.....	99
Εικόνα 11 Νότια Όψη – Λήψη ΝΔ	100
Εικόνα 12 Νότια Όψη – Λήψη ΝΑ.....	100
Εικόνα 13 Δυτική Όψη.....	101
Σχήμα 1 Επίδραση της θερμοκρασίας στο λόγο απόδοσης Φ/Β στοιχείων (Kamel et al., 2015)	10
Σχήμα 2 Γενική κατηγοριοποίηση συλλεκτών PV/T. (Diwania et al., 2020).....	14
Σχήμα 3 Ταξινόμηση των ESS (del Pero, Aste, Paksoy, Haghighat, Grillo & Leonforte, 2018).	17
Σχήμα 4 Ταξινόμηση ESS με βάση την πυκνότητα ενέργειας και ισχύος (Fang, Shek & Sun, 2025).	18

Σχήμα 5 Ταξινόμηση ESS με βάση την ισχύ και το χρόνο εκφόρτισης (Fang, Shek & Sun, 2025).	19
Σχήμα 6 Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης XT (ΔΕΔΔΗΕ, 2019)	21
Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης.	46
Διάγραμμα 2 Φορτίο Θέρμανσης Ιανουαρίου - Μαρτίου.	58
Διάγραμμα 3 Φορτίο Θέρμανσης Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου	58
Διάγραμμα 4 Φορτίο Ψύξης Απριλίου - Οκτωβρίου	59
Διάγραμμα 5 Απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε σχέση με την αποδιδόμενη ενέργεια των Φ/Β για τους μήνες Ιανουάριο έως Φεβρουάριο	64
Διάγραμμα 6 Απαιτούμενη ενέργεια ψύξης σε σχέση με την αποδιδόμενη ενέργεια των Φ/Β για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο	64
Διάγραμμα 7 Σύγκριση ενέργειας για αυτοκατανάλωση και έλλειψης ενέργειας ανά ώρα Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου	65
Διάγραμμα 8 Σύγκριση ενέργειας για αυτοκατανάλωση και έλλειψης ενέργειας ανά ώρα Μαΐου - Ιουνίου	66
Διάγραμμα 9 Ωριαία ενέργεια αυτοκατανάλωσης για θέρμανση σε σχέση με την εγχυόμενη προς το δίκτυο και την υπολειπόμενη σε kWh Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου	69
Διάγραμμα 10 Ωριαία ενέργεια αυτοκατανάλωσης για ψύξη σε σχέση με την εγχυόμενη προς το δίκτυο και την υπολειπόμενη σε kWh Μαΐου - Ιουνίου	70
Διάγραμμα 11 Συνεισφορά της εκφόρτισης των συσσωρευτών την περίοδο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου	71
Διάγραμμα 12 Συνεισφορά της εκφόρτισης των συσσωρευτών την περίοδο Μαΐου - Ιουνίου	72
Διάγραμμα 13 Καθαρές ταμειακές ροές επένδυσης χωρίς συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης.	76

Διάγραμμα 14Καθαρές ταμειακές ροές επένδυσης με συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης	77
Διάγραμμα 15Καταμερισμός ενέργειας μηνός Ιανουαρίου με συσσωρευτές.....	81
Διάγραμμα 16Σύγκριση καταμερισμού ενέργειας μηνός Ιανουαρίου με και χωρίς συσσωρευτές.....	82
Διάγραμμα 17Καταμερισμός ενέργειας μηνός Ιουνίου με συσσωρευτές.....	83
Διάγραμμα 18Σύγκριση καταμερισμού ενέργειας μηνός Ιουνίου με και χωρίς συσσωρευτές.....	84
Διάγραμμα 19Έτος θετικής εκροής σωρευτικών ταμειακών ροών με μεταβολή του δ ...	88
Διάγραμμα 20Έτος θετικής εκροής σωρευτικών ταμειακών ροών με μεταβολή του p ...	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Βασικά τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών συσσωρευτών (delPero, C., et al. (2018) από IRENA, (2015).....	19
Πίνακας 2 Βασικά casestudies και συμπεράσματα για τη σύζευξη ΑΠΕ με Α/Θ.....	35
Πίνακας 3 Βασικά casestudies και μεθοδολογίες για τη σύζευξη ΑΠΕ με Α/Θ.	42
Πίνακας 4 SWOT analysis.....	47
Πίνακας 5 Εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας	50
Πίνακας 6 Στοιχεία θερμικής ζώνης	50
Πίνακας 7 Συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων των θερμαινόμενων και των μη θερμαινόμενων χώρων του κτηρίου	51
Πίνακας 8 Συντελεστές θερμοπερατότητας πλάκας σε επαφή με το έδαφος	51
Πίνακας 9 Συγκεντρωτικά στοιχεία θερμομονωτικής επάρκειας κτηρίου	52
Πίνακας 10 Σύστημα θέρμανσης – Ψύξης – Δίκτυο Διανομής – Τερματικών μονάδων – Βοηθητικών συστημάτων.....	53
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων και inverter.....	54
Πίνακας 12 Μηνιαίος βαθμός απόδοσης Φ/Β συστοιχίας Ιανουαρίου - Ιουνίου	55
Πίνακας 13 Μηνιαίος βαθμός απόδοσης Φ/Β συστοιχίας Ιουλίου - Δεκεμβρίου	56
Πίνακας 14 Διαστασιολόγηση φ/β χωρίς συσσωρευτές.....	62
Πίνακας 15 Διαστασιολόγηση συσσωρευτών	67
Πίνακας 16 Δεδομένα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης	73
Πίνακας 17 Αποτελέσματα τεχνοοικονομικών δεικτών επένδυσης χωρίς συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης.....	76
Πίνακας 18 Αποτελέσματα τεχνοοικονομικών δεικτών επένδυσης με συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης.....	77
Πίνακας 19 Ετήσια αποτελέσματα δεικτών SCR, SSR και GridImportReduction	78

Πίνακας 20 Σύγκριση Δεικτών από Ταυτοχρονισμό μηνών Ιανουαρίου και Ιουνίου	79
Πίνακας 21 Σύγκριση Τεχνοοικονομικών Δεικτών	85
Πίνακας 22 Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή των τιμών ενέργειας (δ).....	87
Πίνακας 23 Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου (p).....	87

Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος και της βιωσιμότητας σε τεchnοοικονομικούς όρους μιας Φ/Β εγκατάστασης σε σύζευξη με αντλία θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης μιας ισόγειας μονοκατοικίας στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, εμβαδού περίπου 220m², πανταχόθεν ελεύθερο, με επαρκή διαθέσιμη επιφάνεια δώματος και σύστημα θέρμανσης – ψύξης με Fan Coil Units στο επιδοτούμενο σχήμα του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού (net – billing). Επίσης θα διερευνηθούν σε τεchnοοικονομικούς όρους οι περιπτώσεις χρήσης συστήματος αποθήκευσης της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και της υπερδιαστασιολόγησης της Φ/Β εγκατάστασης για την κάλυψη του μη ταυτοχρονισμένου φορτίου από την πώληση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια αγοράς της κατά τις ώρες που δεν παράγει ενέργεια. Η τεchnοοικονομική ανάλυση θα βασιστεί σε όρους εντόκου περιόδου αποπληρωμής (ΕΠΑ), εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) και καθαρής παρούσας αξίας (NPV). Μια συγκριτική μελέτη σε ανεξάρτητες μεταβλητές όπως το προεξοφλητικό επιτόκιο και το ποσοστό μεταβολής των τιμών ενέργειας θα καταδείξουν τον βαθμό στον οποίο επηρεάζεται η επένδυση από μελλοντικές μεταβολές των δεδομένων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία λειτουργίας των αντλιών θερμότητας, οι τύποι (αέρα-νερού, γεωθερμικές, αέρας-αέρα), και η σημασία του COP (Coefficient of Performance). Εξηγούνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητά τους, όπως το κλίμα, η θερμομονωτική επάρκεια του κτηρίου και η επιλογή του κατάλληλου συστήματος. Επιπλέον, αναλύονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης Α/Θ σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης και παρουσιάζονται οι νέες τάσεις ανάπτυξης, όπως οι υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης και η ενεργειακή αποδοτικότητά τους (Wang, Xia, Bales, Zhang, Copertaro, Pan & Wu2020).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογίες Φ/Β, με έμφαση στα είδη και στις διαφορές που έχουν σε απόδοση, κόστος και εφαρμογές. Περιγράφονται οι μονοκρυσταλλικές, πολυκρυσταλλικές και thin-film τεχνολογίες, αναλύοντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αναλύονται επίσης οι τεχνολογίες PVT, όπου συνδυάζεται PV και θερμική ενέργεια, οι τάσεις ανάπτυξής τους, όπως η χρήση νέων

υλικών και η ενσωμάτωση σε έξυπνα κτήρια - δίκτυα. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των τελευταίων τεχνολογικών τάσεων, για την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους και η πρόοδος στην κατασκευή και την εγκατάσταση (Diwania, Agrawal, Siddiqui & Singh, 2020).

Παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μέσω συσσωρευτών. Θα αναλυθούν οι τεχνολογίες ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες), για τον κτηριακό τομέα και η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας σε δοχεία ζεστού νερού για ετεροχρονισμένη χρήση της ενέργειας. Οι τεχνολογίες αυτές θα αναλυθούν – παρουσιαστούν από τη σκοπιά τροφοδότησης με ηλεκτρική ενέργεια της αντλίας θερμότητας τις ώρες μη παραγωγής ενέργειας της Φ/Β εγκατάστασης (delPero, Aste, Paksoy, Haghighat, Grillo & Leonforte, 2018).

Τέλος, περιγράφεται η τεχνολογική και νομική βάση του ενεργειακού συμψηφισμού, με έμφαση στη διαφορά μεταξύ net-metering και net-billing . Αναλύονται τα πλεονεκτήματα, οι περιορισμοί και η νομοθεσία στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και η σημασία του για την προώθηση των συστημάτων αυτοπαραγωγής. Ακόμα, παρουσιάζονται οι ανάγκες που προκάλεσαν τη μετάβαση από το επενδυτικό μοντέλο του ετήσιου ενεργειακού συμψηφισμού στο μοντέλο του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού (Mascherbauer, Martínez, Mateo, Yu & Kranzl, 2025) με στόχο την αυτοπαραγωγή και αυτοκατανάλωση, σε οικονομικούς όρους και οι τάσεις εξέλιξης, με έμφαση στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας και την επίδραση στην ενεργειακή αγορά (Trela & Dubel, 2022).

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης πρόσφατων ερευνών και πειραμάτων που έχουν αξιολογήσει την απόδοση και την οικονομική βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων. Αναφέρεται στη χρήση προσομοιωτικών εργαλείων (Stamatellos, Zogou & Stamatelos, 2021), όπως το TRNSYS, και η εφαρμογή σε διαφορετικά γεωγραφικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, επισημαίνονται τα βασικά ευρήματα σχετικά με την κριτική ανάλυση κόστους και οφέλους και το ρόλο της αυτονομίας και της βιωσιμότητας (Bellos, Tzivanidis, Moschos & Antonopoulos, 2016).

Συγκρίνονται τα αποτελέσματα από διαφορετικές περιοχές, αναδεικνύονται οι προκλήσεις, τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές, και αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών. Παρουσιάζονται περιπτώσεις

εγκαταστάσεων σε διάφορα κλιματικά διαμερίσματα (Bellos et al., 2016 ' Schreurs, Madani, Zottl, Sommerfeldt, & Zucker, 2021, κ.α.) και συζητούνται οι επιδόσεις, η αποδοτικότητα, τα επιμέρους προβλήματα και οι λύσεις που έχουν προταθεί ή εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση, καθώς και οι επιτυχείς πρακτικές ή τα εμπόδια που προέκυψαν κατά την υλοποίηση των συστημάτων.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση θα οργανωθεί με τη χρήση του λογισμικού Mendeley και θα οπτικοποιηθεί με τη βοήθεια του λογισμικού Vosviewer, ώστε να διαφανούν τα δυνατά και αδύναμα σημεία και οι συγκλίσεις και αποκλίσεις της βιβλιογραφίας.

Το επόμενο τμήμα εστιάζει στην ανάλυση των εφαρμογών, τις τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις που αντιμετώπισαν και τις προτάσεις βελτίωσης που προέκυψαν από αυτές. Επιπλέον, εξετάζονται καλές πρακτικές και πώς μπορούν να μεταφραστούν σε ευρύτερη εφαρμογή. Τέλος, αρχίζει να διαφαίνεται ο λόγος και η προσφορά στη επιστημονική κοινότητα της παρούσας εργασίας καθώς η στόχευσή της είναι σε σημεία τα οποία δεν βρέθηκαν από την ανασκόπηση, κάτι που θα συζητηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια γίνεται η παρουσίαση του ερευνητικού θέματος και αναδεικνύεται το ερευνητικό πρόβλημα, τα σημεία, δηλαδή, τα οποία ενδιαφέρουν τον ερευνητή και δε βρέθηκαν να απαντώνται κατά τη βιβλιογραφική έρευνα. Το ερευνητικό θέμα θα παρουσιαστεί σε συνδυασμό με τις παραπάνω μελέτες περιπτώσεων, αλλά, και μέσω μελετών βιωσιμότητας και αναστοχασμού επί των θεμάτων ενεργειακού συμψηφισμού (Benalcazar, Kalka & Kamiński, 2024) και (Jasiński, Kozakiewicz & Sołtysik, 2024).

Το ερευνητικό πρόβλημα παρουσιάζεται από τη σκοπιά των επενδυτικών διαφοροποιήσεων που φέρνει η αυτοκατανάλωση και ο ταυτοχρονισμένος συμψηφισμός (Trela & Dubel, 2021), το γεγονός ότι δεν έχει αποτυπωθεί μελέτη περίπτωσης για την κλιματική ζώνη Α της Ελλάδας στα πλαίσια του net-billing αλλά και το γεγονός ότι με βάση τις δύο προηγούμενες παραμέτρους οι μελέτες περιπτώσεων αναλύουν τον ενεργειακό συμψηφισμό σε μηνιαίο ή ετήσιο φορτίο και όχι ωριαίο – ταυτοχρονισμένο.

Δημιουργώντας από τα παραπάνω τα ερευνητικά ζητήματα καταλήγουμε στα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία είναι τα εξής :

Τι βιωσιμότητα παρουσιάζει μια Φ/Β εγκατάσταση διαστασιολογημένη:

για να καλύψει την ημερήσια ζήτηση ενέργειας της Α/Θ για τη θέρμανση - ψύξη των χώρων,

για να καλύψει οικονομικά και το κόστος αγοράς ενέργειας από το δίκτυο τις ώρες κατά τις οποίες δεν παράγει ενέργεια διασυνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο με το σύστημα του net – billing,

σε σύζευξη με την Α/Θ και συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας για τις ώρες που δεν παράγει ενέργεια το Φ/Β σε σχέση με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αυτές.

Η τεchnοοικονομική ανάλυση για τη βιωσιμότητα των σεναρίων θα χρησιμοποιήσει τις σχέσεις καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) και εντόκου περιόδου αποπληρωμής (ΕΠΑ) λαμβάνοντας υπόψη τιμές αγοράς με τους φόρους και επιτόκιο τρέχουσας περιόδου όπως θα κόστιζαν σε έναν ιδιώτη καταναλωτή.

Τέλος, θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός της επίλυσης όλου του τεχνικοοικονομικού ζητούμενου και θα αποτυπωθούν σε διάγραμμα ροής τα στάδια και οι διαδικασίες.

Στο δεύτερο στάδιο ξεκινάει το πρακτικό μέρος της εργασίας όπου αναζητούνται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής της μελέτης. Αναλύεται η περίπτωση μιας κατοικίας στη νότια Ελλάδα με περιγραφή του συστήματος, τα χαρακτηριστικά του κτιρίου, τα δεδομένα λειτουργίας, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από προσομοιώσεις. Ειδική έμφαση δίνεται στη διαχείριση φορτίων, την αποδοτικότητα, μαζί με τα ιδιαίτερα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.

Στην ανάλυση ταυτοχρονισμένου φορτίου απαιτείται ο υπολογισμός του ωριαίου φορτίου θέρμανσης - ψύξης το οποίο επιβαρύνει την Α/Θ και το οποίο ως ηλεκτρική κατανάλωση από αυτή πρέπει να καλυφθεί από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του Φ/Β στα πλαίσια της αυτοκατανάλωσης. Η χρήση ωριαίων κλιματικών δεδομένων της συγκεκριμένης περιοχής, όπως από το CBE Climatoool, για την περιοχή του αεροδρομίου του Ηρακλείου κρίνονται αντιπροσωπευτικά της περιοχής του κτηρίου λόγω της κοντινής απόστασής τους, του παρόμοιου μικροκλίματος και της χωροθέτησης του κτηρίου ως πανταχόθεν ελεύθερο. Το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS θα βοηθήσει στη λεπτομερή εξαγωγή της συμπεριφοράς του κτηρίου και του συστήματος Α/Θ (Stammellos et al, 2021). Τα δεδομένα του κελύφους θα καταχωρηθούν με βάση την

πραγματική κατασκευή, ενώ για το ωράριο λειτουργίας, τα θερμικά κέρδη του χώρου και την προσπίπτουσα ακτινοβολία θα γίνουν οι παραδοχές και θα ληφθούν οι τιμές σύμφωνα με τον εθνικό κανονισμό του ΚΕΝΑΚ (2017).

Θα ακολουθήσει η διαστασιολόγηση των συστημάτων και η κοστολόγηση με τιμές αγοράς, συντήρησης και αντικατάστασης, εάν απαιτείται.

Η τεchnοοικονομική ανάλυση για τη βιωσιμότητα των σεναρίων θα χρησιμοποιήσει τις σχέσεις καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) και εντόκου περιόδου αποπληρωμής λαμβάνοντας υπόψη τιμές της αγοράς με τους φόρους για τα κόστη ενέργειας, λειτουργίας και εξοπλισμού και το επιτόκιο τρέχουσας περιόδου όπως θα κόστιζαν σε έναν ιδιώτη καταναλωτή.

Το στάδιο αυτό θα βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης των συστημάτων και θα καταδείξει το βέλτιστο τεchnοοικονομικά σενάριο το οποίο θα παρουσιάζει βιωσιμότητα ως επένδυση.

Όποιο τεchnοοικονομικό σενάριο απαιτηθεί θα υποβληθεί σε συγκριτική μελέτη ως προς εξωτερικές μεταβλητές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την επένδυση.

Τα παραπάνω αποτελέσματα θα καταδείξουν αν η μετάβαση στο νέο μοντέλο ενεργειακού συμψηφισμού δημιουργεί βιωσιμότητα ή όχι στις εν λόγω επενδύσεις από τη σκοπιά του αυτοκαταναλωτή, ποια είναι πλέον η βέλτιστη λογική διαστασιολόγησης της Φ/Β εγκατάστασης στη σύζευξη με Α/Θ, ποιες άλλες ΑΠΕ μπορούν να συνδυαστούν με το βασικό σχήμα Α/Θ – Φ/Β και να δώσουν βιώσιμο αποτέλεσμα για την επένδυση ακόμη και να καθοριστεί, εν τέλει, αν ο ιδιώτης λογίζεται πλέον ως παραγωγός – προμηθευτής ή απλά αυτοπαραγωγός - αυτοκαταναλωτής ενέργειας.

Τα όποια συμπεράσματα προκύψουν θα συζητηθούν σε σχέση με τα case - studies της βιβλιογραφίας και θα αναδειχθεί η συνεισφορά της εργασίας προς την επιστημονική κοινότητα και το ευρύτερο σύνολο.

Σαφώς η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ σε επίπεδο κατοικίας μπορεί να συνεισφέρει και σε άλλες καταναλώσεις ενέργειας του κτηρίου, οπότε και, θα προταθούν ζητήματα περαιτέρω έρευνας.

1. Τεχνολογίες συστημάτων ΑΠΕ και ενεργειακός συμψηφισμός

1.1. Αντλίες θερμότητας σε συνεργασία με ΑΠΕ

Σε σύγκριση με την κεντρική θέρμανση με λέβητα ή την ηλεκτρική θέρμανση, η αντλία θερμότητας είναι ένα πιο αποτελεσματικό και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα για την παροχή κατάλληλου εσωτερικού κλίματος μειώνοντας έως και 50% την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μετά την αντικατάσταση ενός λέβητα (Antre, P., & Lebrun, J., 2016). Ως αποτέλεσμα, κερδίζει δεσπόζουσα θέση στην αγορά. Μεταξύ όλων των τύπων αντλιών θερμότητας, η αντλία θερμότητας με πηγή τον αέρα (ASHP) είναι ένα σύστημα θέρμανσης με πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, σχετικά σταθερή απόδοση, μεγάλη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας, άφθονα κοινωνικά οφέλη και χαρακτηριστικά φιλικά προς το περιβάλλον. Οι αντλίες θερμότητας με πηγή θερμότητας τον αέρα (ASHP) που υποστηρίζονται από ηλιακή ενέργεια έχουν προσελκύσει αρκετά το ενδιαφέρον, λόγω της ευκολίας τους στην εγκατάστασή τους σε κτήρια για θέρμανση/ψύξη χώρων και ζεστό νερό χρήσης. Ωστόσο, υπάρχει πληθώρα διαμορφώσεων - ρυθμίσεων, παραμέτρων και κριτηρίων απόδοσης των συστημάτων αυτών με ηλιακή υποβοήθηση (Wang, Xia, Bales, Zhang, Copertaro, Pan & Wu, 2020).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που σχετίζονται με τη σύνδεση ηλιακής ενέργειας και αντλιών θερμότητας. Οι αντλίες θερμότητας αέρα, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι ηλιακά υποβοηθούμενες αντλίες θερμότητας και οι αντλίες θερμότητας διπλής πηγής έχουν συγκριθεί και δοκιμαστεί για διάφορα κλίματα. Σύμφωνα με τους Bellos, Tzivanidis, Moschos & Antonopoulos (2016) οι αντλίες θερμότητας νερού (ηλιακές και εδάφους) έχουν καλύτερη απόδοση από τις αντλίες θερμότητας αέρα. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής απόδοσης (COP) στις αντλίες θερμότητας νερού είναι περίπου 4-5 (Bellos, Tzivanidis, Delis & Antonopoulos, 2015) ενώ για τις αντλίες θερμότητας αέρα είναι περίπου 3 (Cabrol, Rowley, 2012).

Στη συγκριτική βιβλιογραφική ανασκόπηση των Wang et al. (2020), με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης διαφόρων συστημάτων ASHP από τρεις κύριες ηλιακές πηγές, όπως η ηλιακή θερμική (Solar - Thermal), η φωτοβολταϊκή (PV) και η υβριδική φωτοβολταϊκή/θερμική (PV/T), στην οποία μελετήθηκαν προσομοιώσεις και πειραματικές διατάξεις μέσα από τη βιβλιογραφία για διάφορες τοποθεσίες του κόσμου, δείχνει, όπως

φαίνεται στην Εικόνα 1, ότι το σύστημα PV-ASHP έχει την καλύτερη τεχνοοικονομική απόδοση, η οποία αποδίδει καλύτερα κατά μέσο όρο με συντελεστή απόδοσης (COP) περίπου 3.75, αλλά, με μέτριο κόστος και χρόνο απόσβεσης. Ενώ τα συστήματα ST-ASHP και PV/T-ASHP έχουν χαμηλότερη απόδοση με μέσο COP 2.90 και 3.03 αντίστοιχα. Επιπλέον, το σύστημα PV/T-ASHP έχει το υψηλότερο κόστος και τον μεγαλύτερο χρόνο απόσβεσης, ενώ το ST-ASHP έχει τον χαμηλότερο.

System	Advantage	Disadvantage	Average COP of HP
ST-ASHP	High efficiency; Shortest payback time; Low installation requirement;	Affected by ambient temperature; lowest investment;	2.90
PV-ASHP	Saving electricity, even can support other equipment; Highest COP of HP; Lower input power;	More investment; Existing electricity storage problem; Affected by solar irradiation; Installation problem;	3.75
PV/T-ASHP	Highest solar energy utilization; Supply heat and electricity as the same time; Most energy production and lowest consumption;	Most investment; Most complex system and control; Most installation and maintenance problem; Longest payback time;	3.03

Εικόνα 1 Συγκριτικός πίνακας σύζευξης ASHP με τεχνολογίες ΑΠΕ ως προς το μέσο COP από μελέτες σε διάφορα μέρη του κόσμου (Wang et al., 2020)

1.2. Τεχνολογίες Φ/Β συστημάτων

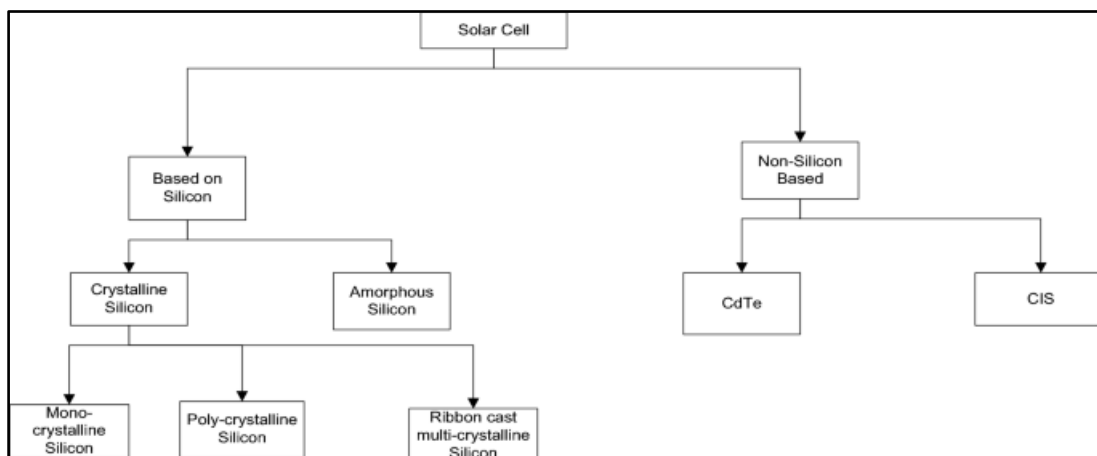
Η ανανεώσιμη ενέργεια, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, δεν θα εξαντληθεί ποτέ. Επιπλέον, η ανανεώσιμη ενέργεια είναι καθαρή και βιώσιμη. Οι κύριοι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι είναι η άμεση ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η παλιρροϊκή/κυματική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα. Το ηλιακό φως, γνωστό ως ηλιακή ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον φωτισμό και τη θέρμανση κτιρίων. Όλες οι πηγές ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι πολύ σημαντική για τη ζωή μας. Ως εκ τούτου, έχουν γίνει πολλές μελέτες για διαφορετικούς τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίοι εξαρτώνται κυρίως από την ηλιακή ενέργεια. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα καλύπτουν περίπου το 13,3% των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων (Kamel, Fung & Dash, 2015).

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί σε θερμική ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες σε θερμικά συστήματα όπως ηλιακοί θερμοσίφωνες, ηλιακοί θερμοσίφωνες αέρα, κουζίνες, στεγνωτήρια και συσκευές απόσταξης. Επίσης, η

ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας αυτό που ονομάζεται φωτοβολταϊκό (Φ/Β) πάνελ (Kamel et al., 2015).

1.2.1. Φ/Β στοιχεία

Οι συνηθισμένοι τύποι φωτοβολταϊκών κυψελών είναι τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια πυριτίου (m-Si) και τα πολυκρυσταλλικά (multicrystalline) πλαίσια πυριτίου (mc-Si). Στη βιβλιογραφική επισκόπηση των Diwania, Agrawal, Siddiqui & Singh, (2020) για τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων παρατίθεται η κατηγοριοποίηση των πλαισίων. Παρουσιάζεται η τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου ως ευρέως αποδεκτή σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ηλιακών κυψελών λόγω του χαμηλότερου κόστους και της υψηλότερης απόδοσης, με απόδοση της τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου έως και 23%. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζουν την κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών Φ/Β πλαισίων.



Εικόνα 2 Κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών Φ/Β πλαισίων (Diwania, S. et al., 2020)

Επίσης στην εργασία των Diwania et al (2020) εκτός από αυτές τις παραδοσιακές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών, συζητούνται επίσης μερικές νεότερες τεχνολογίες κυψελών :

α) Αρσενίδιο του γαλλίου (GaAs): Το GaAs είναι ένας σύνθετος ημιαγωγός που σχηματίζεται από τον συνδυασμό στοιχείων γαλλίου και αρσενιδίου. Η απόδοση του GaAs μπορεί να αυξηθεί με την ανάμειξή του με άλλα στοιχεία όπως αλουμίνιο, φώσφορο

και αντιμόνιο. Αυτή η τεχνολογία δεν είναι τόσο δημοφιλής λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής της .

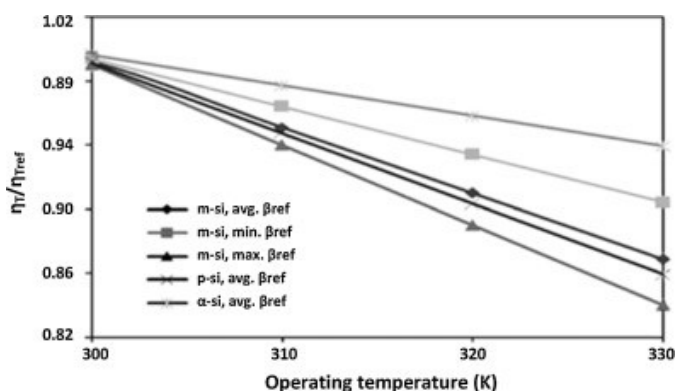
β) Dye-sensitized solar cell (DSSc): Αυτή η τεχνολογία ανακαλύφθηκε από τους Gretel και Oregano το 1991. Το DSSc αναπτύχθηκε από τον ημιαγωγό που σχηματίζεται από τον συνδυασμό μιας φωτοευαίσθητοποιημένης ανόδου και ενός ηλεκτρολύτη. Αυτή η τελευταία τεχνολογία τράβηξε την προσοχή λόγω του χαμηλότερου κόστους κατασκευής της, της υψηλότερης απόδοσης και της ικανότητάς της να ανταποκρίνεται σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Για την ενίσχυση της απόδοσης μετατροπής ισχύος (PCE) και της σταθερότητας για εμπορικές εφαρμογές, προσδιορίζονται επίσης ορισμένα υλικά ευαίσθητοποιημένα με χρωστικές, όπως χρωστικές με βάση την πορφυρίνη και χρωστικές που περιέχουν πολυθειοφαίνιο.

γ) Perovskite solar cells (PSC): Τα PSC αναπτύσσονται για να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση και χαμηλό κόστος ηλιακών στοιχείων. Η κατασκευή PSC μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους: (1) μεσοπορώδη αρχιτεκτονική και (2) αρχιτεκτονική λεπτής μεμβράνης. Παρόλο που τα PSC παρασκευάζονται χρησιμοποιώντας απλή χημική προσέγγιση, προσφέρουν πολύ υψηλή απόδοση μετατροπής ισχύος. Η υψηλότερη απόδοση μετατροπής ισχύος που αναφέρθηκε από τα PSC ήταν 22,1% .

δ) Οργανικό ηλιακό στοιχείο: Αυτή η τελευταία τεχνολογία είναι σε τάση λόγω του χαμηλού κόστους και της απόδοσης μετατροπής περίπου 9%, αλλά απαιτείται περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για εμπορικές εφαρμογές. Η κατασκευή της περιλαμβάνει υλικά δότη και δέκτη ηλεκτρονίων αντί για ημιαγωγική σύνδεση p-n .

Οι Kamel et al (2015) αναφέρουν ότι ενώ τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιέχουν ηλιακά στοιχεία που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, ωστόσο, δεν μετατρέπεται όλη η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από τα ηλιακά στοιχεία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μη μετατρέπομενη ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πάνελ, η οποία με τη σειρά της μειώνει την ηλεκτρική απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, τον συντελεστή συσσώρευσης και τη θερμοκρασία του στοιχείου. Υψηλή ηλιακή ακτινοβολία σημαίνει μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων που απελευθερώνονται. Συνεπώς, λαμβάνεται περισσότερο ρεύμα από το στοιχείο. Η αύξηση του συντελεστή συσσώρευσης (το κλάσμα της επιφάνειας της απορροφητικής πλάκας που καλύπτεται από τα ηλιακά στοιχεία) έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας συλλέκτη. Ωστόσο, η υψηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και ο συντελεστής συσσώρευσης αυξάνουν τις θερμοκρασίες των στοιχείων, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του στοιχείου. Με άλλα λόγια, η απόδοση των φωτοβολταϊκών μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου, επειδή οι υψηλές θερμοκρασίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων μειώνουν σημαντικά την τάση σε σύγκριση με την πολύ μικρή αύξηση του ρεύματος. Το Σχήμα 1 δείχνει την επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου στον λόγο απόδοσης (η_T/η_{ref}), όπου η_{ref} είναι η απόδοση σε θερμοκρασία αναφοράς και η_T είναι η απόδοση σε θερμοκρασία T . Από το σχήμα φαίνεται ότι όταν η θερμοκρασία λειτουργίας αυξάνεται από 300 K σε 330 K, η απόδοση της φωτοβολταϊκής μονάδας (m-Si) μειώνεται κατά 15%, ενώ η απόδοση της μονάδας λεπτής μεμβράνης μειώνεται μόνο κατά 5%. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες χρησιμοποιούν μόνο μια μικρή ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με μέγιστη απόδοση στην περιοχή 5-20%. Η υπόλοιπη ακτινοβολία γίνεται απορριπτόμενη θερμότητα στο κελί, γεγονός που αυξάνει τη θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού κελιού.



Σχήμα 1 Επίδραση της θερμοκρασίας στο λόγο απόδοσης Φ/Β στοιχείων (Kamel et al., 2015)

Τέλος οι Liu, Liu, He, Xu, Jin & Zhang (2019) επισημαίνουν την σκόνη ως σημαντικό αντίκτυπο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια,

συμπεριλαμβανομένων των μονοκρυσταλλικών, πολυκρυσταλλικών και άμορφων πυριτίων, όταν η πυκνότητα εναπόθεσης σκόνης αυξάνεται από 0 σε 22 g/m², η μείωση της απόδοσης εξόδου θα αυξηθεί από 0% σε 26%.

1.2.2. Ηλιοθερμικοί συλλέκτες

Τα συστήματα ηλιακών θερμικών συλλεκτών μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια. Ένα ρευστό όπως ο αέρας, το νερό, η γλυκόλη, το λάδι κ.λπ. χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς θερμότητας από τον ηλιακό συλλέκτη. Η θερμική ενέργεια από τον ηλιακό συλλέκτη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων, θέρμανση νερού και παραγωγή ατμού ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση.

Ο ηλιακός θερμικός συλλέκτης μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τον τύπο του ρευστού:

- τύπος θέρμανσης υγρού και
- τύπος θέρμανσης αέρα.

Επιπλέον, οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες ταξινομούνται είτε ως μη συγκεντρωτικοί τύποι όπως οι επίπεδοι δίσκοι είτε ως συμπυκνωτές όπως οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές.

Για εφαρμογές χαμηλών και μεσαίων θερμοκρασιών (κάτω των 100 °C), χρησιμοποιούνται σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες, ενώ για υψηλές θερμοκρασίες (250–2500 °C) χρησιμοποιούνται συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες με συσκευή παρακολούθησης .

Τα κύρια μέρη του επίπεδου συλλέκτη είναι:

- ο απορροφητής,
- το διαφανές κάλυμμα,
- το πλαίσιο και
- η μόνωση.

Η καρδιά του συλλέκτη είναι ο απορροφητής, ο οποίος συνήθως κατασκευάζεται από χαλκό ή αλουμίνιο. Η μόνωση τοποθετείται στο πίσω μέρος και στα πλάγια του συλλέκτη. Για να εξασφαλιστεί καλή μεταφορά θερμότητας στο εργαζόμενο ρευστό, ένα κύκλωμα σωλήνων είναι προσαρτημένο στην επιφάνεια του απορροφητή. Αυτοί οι τύποι ηλιακών συλλεκτών είναι κατάλληλοι για εφαρμογές χαμηλής έως μέσης θερμοκρασίας και το

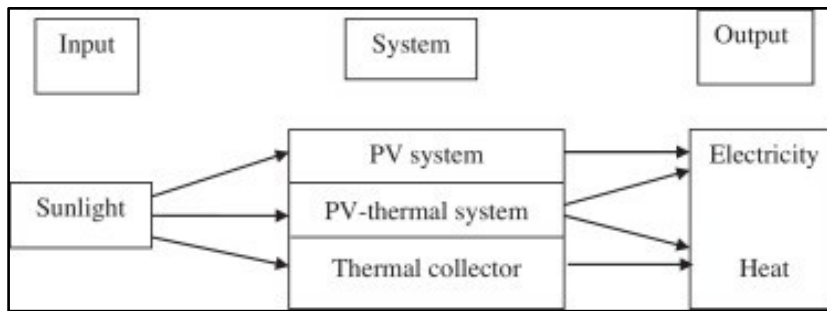
εύρος απόδοσης είναι 40% έως 60%. Η ηλιακή θερμική απόδοση μειώνεται δραματικά για θερμοκρασίες άνω των 60 °C. Πολλές μελέτες δίνουν προτεραιότητα στον συνδυασμό επίπεδων συλλεκτών με φωτοβολταϊκά συστήματα για την αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας ως θερμική ενέργεια σε διαφορετικές εφαρμογές (Kamel et al., 2015) .

1.2.3. Υβριδικός φωτοβολταϊκός-θερμικός συλλέκτης (PV/T)

Η απόδοση παραγωγής ενέργειας των Φ/Β επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία τους. Καθώς η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών μονάδων αυξάνεται κατά 1°C, η ικανότητα παραγωγής ενέργειας θα μειωθεί κατά περίπου 0,52%. Γενικά, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να μετατρέψουν ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται ή παραμένει ως θερμότητα. Η θερμότητα μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας των ηλιακών φωτοβολταϊκών μονάδων, μειώνοντας έτσι την απόδοση μετατροπής ενέργειας. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχει προταθεί το υβριδικό φωτοβολταϊκό θερμικό σύστημα (HPVT, PV/T)

Όταν, λοιπόν, υιοθετούνται συλλέγεται υπερβολική θερμότητα για την παραγωγή ζεστού νερού. Υπό αυτή την έννοια, τα PV/T, μπορούν να παράγουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια (Liu et al., 2019).

Η ιδέα των φωτοβολταϊκών/θερμικών συστημάτων ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970. Η συνεχής ψύξη των φωτοβολταϊκών μονάδων εγγυάται ηλεκτρική απόδοση σε αποδεκτά επίπεδα. Επομένως, η καλύτερη εναλλακτική λύση στο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι τα PV/T (βλ. Εικόνα 3). Η προτεραιότητα των ηλιακών συστημάτων PV/T είναι η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, είναι καλύτερο να διατηρούνται τα φωτοβολταϊκά κύτταρα σε χαμηλή θερμοκρασία για να μεγιστοποιηθεί η ηλεκτρική απόδοση. Η προτεραιότητα στην ηλεκτρική μετατροπή απαιτεί τα PV/T να λειτουργούν σε περιορισμένο εύρος χαμηλών θερμοκρασιών. Η εξαγόμενη θερμότητα από τα PV/T μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας, όπως η προθέρμανση αέρα ή νερού, η θέρμανση χώρων και ο φυσικός αερισμός σε κτήρια (Kamel et al., 2015).



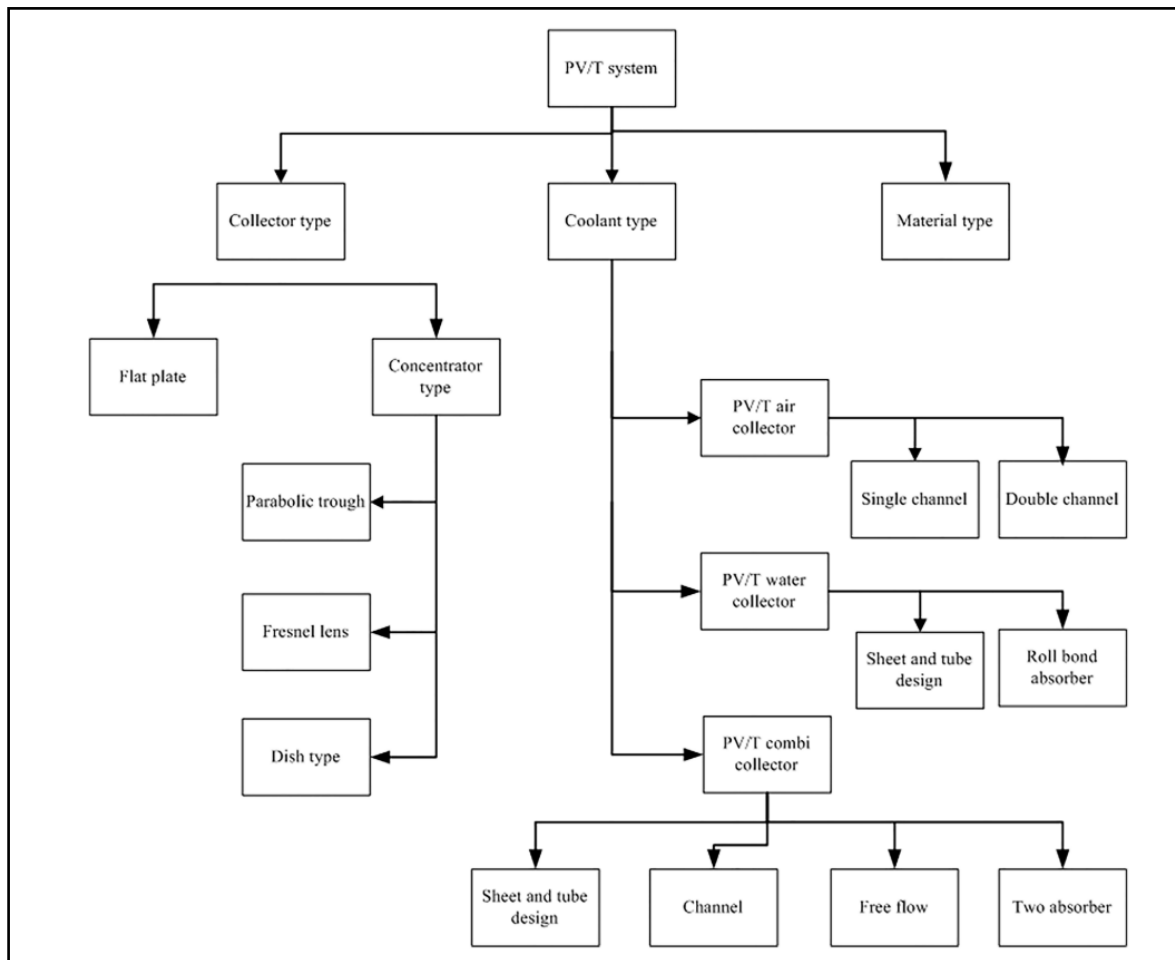
Εικόνα 3 Σύγκριση και χρήσεις μεταξύ PV, PV/T και Ηλιακών συλλεκτών (Kamel et al., 2015).

Οι φωτοβολταϊκοί θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το λειτουργικό ρευστό ως :

- Συλλέκτης PV/T υγρού και
- συλλέκτης PV/Ταέρα

με διαφορετικά σχήματα καναλιών και πρότυπα ροής και για τους δύο τύπους συλλεκτών. Είναι επίσης δυνατή η χρήση υγρού και αέρα στον ίδιο συλλέκτη.

Η επιλογή του λειτουργικού ρευστού πρέπει να γίνει προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη την ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή, τη θερμοχωρητικότητα του ρευστού, τη διαμόρφωση σχεδιασμού και το εύρος θερμοκρασίας (Kamel et al., 2015). Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη κατηγοριοποίηση των συλλεκτών PV/T (Diwan et al., 2020).



Σχήμα 2 Γενική κατηγοριοποίηση συλλεκτών PV/T. (Diwania et al., 2020)

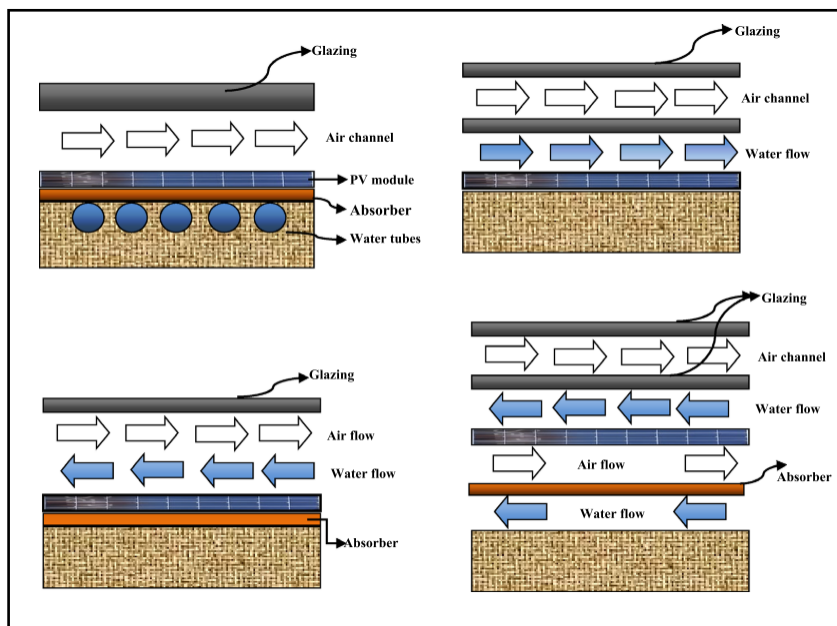
— PV/T ΥΓΡΟΥ

Η καλύτερη απαγωγή θερμότητας επιτυγχάνεται όταν η απόσταση μεταξύ της παραγωγής θερμότητας και της συλλογής θερμότητας είναι η μικρότερη. Οι συνήθεις διαμορφώσεις για τους συλλέκτες νερού είναι ο σχεδιασμός με σωλήνες, η παράλληλη πλάκα και τα πολλαπλά κανάλια. Υπάρχει ένα πιθανό πρόβλημα για τα συστήματα που βασίζονται στο νερό να φτάσουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ειδικά σε περιόδους ελάχιστης ζήτησης ζεστού νερού. Το PV/T μπορεί να φτάσει σε θερμοκρασία στασιμότητας 170 °C, η οποία προκαλεί μείωση της μεταφοράς θερμότητας του ρευστού και αυξάνει την πίεση στο κύκλωμα μεταφοράς θερμότητας. Εάν ο συλλέκτης είναι αδρανής για μεγάλο χρονικό διάστημα και η θερμοκρασία του φτάσει τη θερμοκρασία στασιμότητας, η έναρξη χρήσης του συλλέκτη PV/T μπορεί να προκαλέσει εσωτερικά θερμικά σοκ, που οδηγούν σε

σχηματισμό ατμού και ξαφνική μη ομοιόμορφη ψύξη του απορροφητή. Για να αποφευχθεί η καταστροφική επίδραση του σημείου στασιμότητας, θα πρέπει να υιοθετηθεί μια λειτουργία ελέγχου θερμοκρασίας.

Υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση του υγρού φωτοβολταϊκού/θερμικού συστήματος, όπως το πρόσθετο κόστος για θερμικούς σωλήνες, στοιχεία εναλλάκτη θερμότητας και αντλίες για την κυκλοφορία του νερού, καθώς και προβλήματα παγώματος σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας (Kamel et al., 2015).

Στην εργασία των Diwania et al. (2020) παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαμορφώσεις των PV/T νερού. Ο συλλέκτης νερού PV/T καλύπτει την ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και για ζεστό νερό. Ο συλλέκτης νερού PV/T έχει σχεδόν παρόμοια δομή με τον συλλέκτη αέρα PV/T, εκτός από το κανάλι αέρα. Στον συλλέκτη νερού PV/T, το νερό αναγκάζεται να ρέει μέσω των σωλήνων κάτω από τη Φ/Β μονάδα για να την ψύξει, γεγονός που με τη σειρά του αυξάνει το ηλεκτρικό φορτίο του Φ/Β συλλέκτη. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται διάφορες διαμορφώσεις συλλέκτη νερού PV/T με βάση τα πρότυπα ροής νερού και συμπληρώνεται ως επιπλέον η εφαρμογή της ηλιακής απόσταξης νερού για τη μετατροπή μολυσμένου νερού σε καθαρό νερό αφού η ενσωματωμένη φωτοβολταϊκή/θερμοηλεκτρική ηλιακή ενέργεια εξακολουθεί να ικανοποιεί τη ζήτηση για καθαρό νερό μαζί με θερμική και ηλεκτρική ενέργεια.

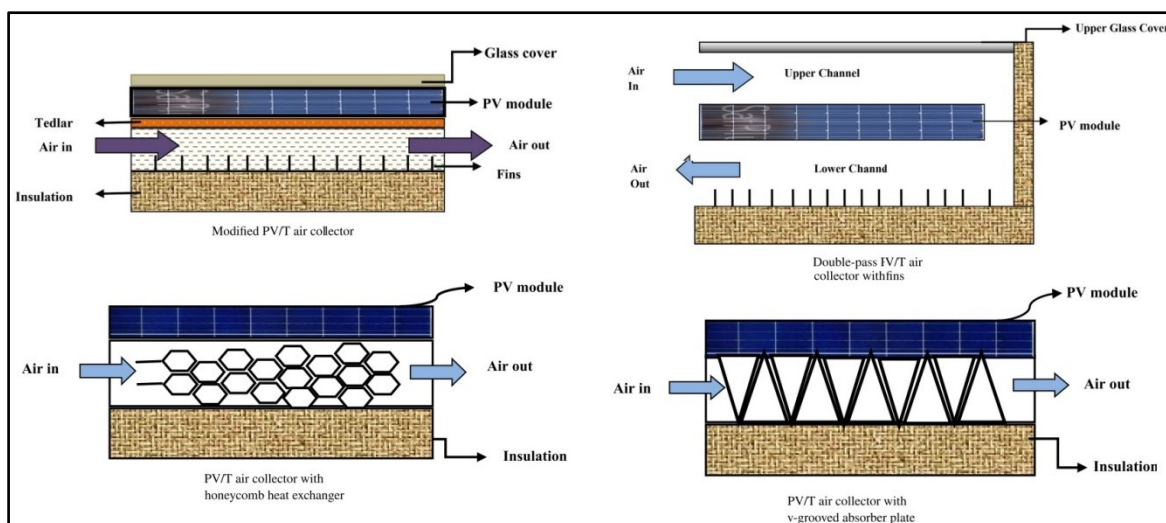


Εικόνα 4 Κατηγοριοποίηση PV/T νερού ανάλογα με το είδος ροής. (Diwania et al., 2020)

— PV/T αέρα

Η αρχή της χρήσης αέρα ως εργαζόμενου ρευστού στα φωτοβολταϊκά/θερμικά συστήματα είναι η ίδια με αυτή των ηλιακών συλλεκτών αέρα. Οι φωτοβολταϊκοί/θερμοηλεκτρικοί συλλέκτες αέρα είναι φθηνότεροι από τους φωτοβολταϊκούς/θερμοηλεκτρικούς συλλέκτες νερού, καθώς απαιτούνται λίγες τροποποιήσεις για τη μετατροπή των συμβατικών φωτοβολταϊκών σε φωτοβολταϊκά/θερμοηλεκτρικά με εργαζόμενο ρευστό τον αέρα. Κάποιες κύριες εφαρμογές των PV/T αέρα είναι η παροχή θερμού αέρα για θέρμανση χώρων και ξήρανση γεωργικών προϊόντων (Kamel et al., 2015).

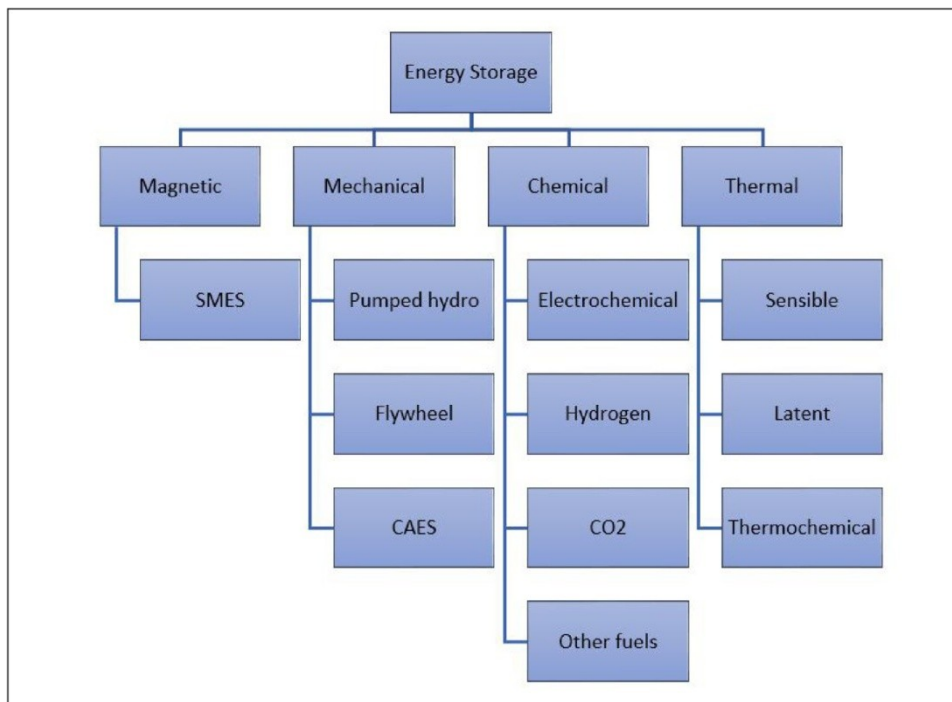
Ο σχεδιασμός του συλλέκτη PV/T αέρα ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του καναλιού. Η συνολική απόδοση του συστήματος PV/T αέρα είναι το άθροισμα των θερμικών και ηλεκτρικών αποδόσεων του. Στην εργασία των Diwanian, S., et al. (2020) παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαμορφώσεις και οι αποδόσεις των PV/T αέρα, όπως φαίνονται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Κατηγοριοποίηση PV/T αέρα ανάλογα με το είδος ροής. (Diwanian et al., 2020)

1.3. Συσσωρευτές Ενέργειας

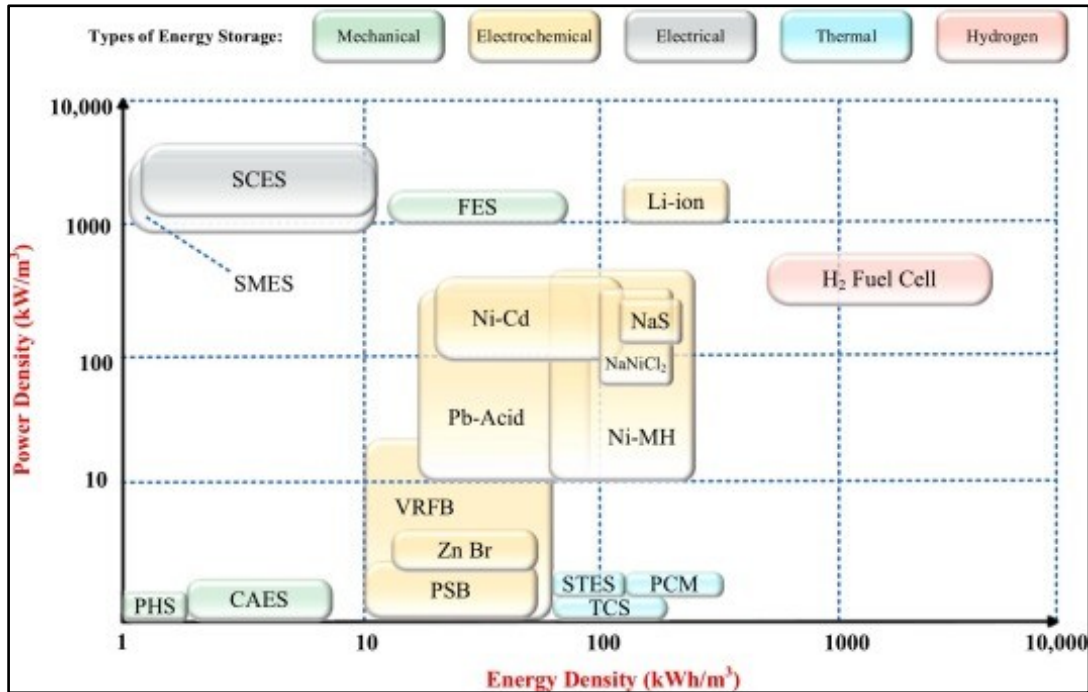
Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί και να ανακτηθεί σε μεταγενέστερο χρόνο, σε διαφορετικό μέρος και ίσως σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας, για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Αυτό είναι δυνατό με βάση τους θερμοδυναμικούς νόμους των ενεργειακών μετασχηματισμών μεταξύ διαφορετικών μορφών ενέργειας, όπως θερμική, μηχανική, χημική και μαγνητική. (del Pero, Aste, Paksoy, Haghighat, Grillo & Leonforte, 2018). Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS) μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με το Σχήμα 3.



Σχήμα 3 Ταξινόμηση των ESS (del Pero, Aste, Paksoy, Haghighat, Grillo & Leonforte, 2018).

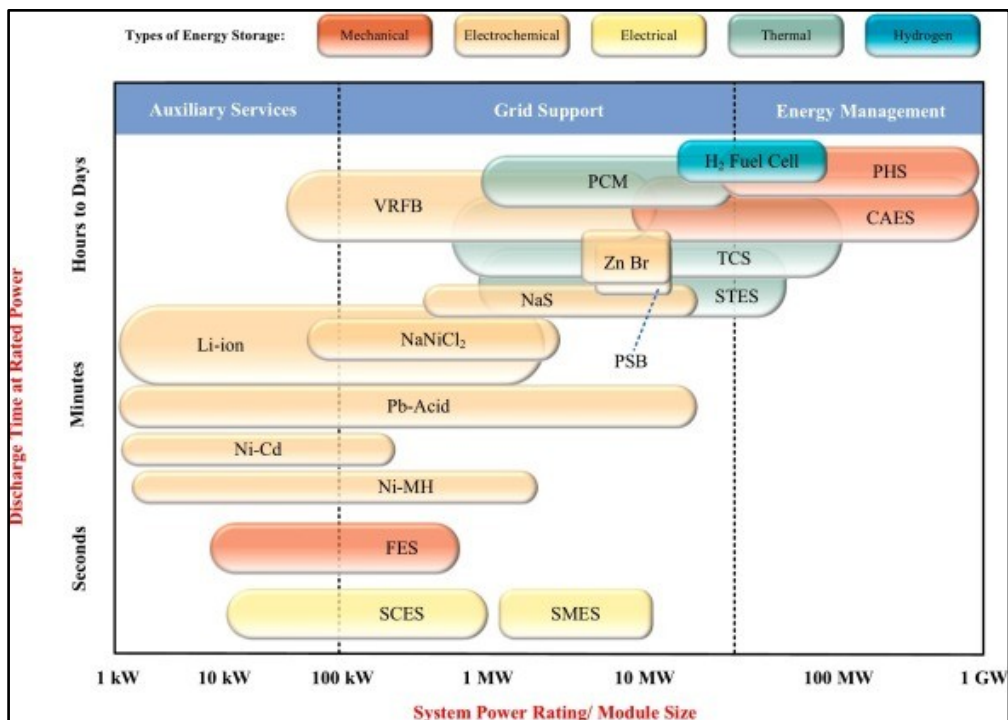
Στην εργασία των Fang, Shek & Sun, (2025) γίνεται ταξινόμηση των ESS ως προς την ισχύ και το χρόνο εκφόρτισης και σχολιάζουν την καταλληλότητα της κάθε τεχνολογίας ως προς τη χρήση της. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η ταξινόμηση με βάση την ενεργειακή πυκνότητα και την πυκνότητα ισχύος. Το μέγεθος ενός ESS καθορίζεται τόσο από την ενέργεια όσο και από την πυκνότητα ισχύος, με υψηλότερες τιμές να οδηγούν σε μικρότερο ESS (πάνω δεξιά γωνία, π.χ., μπαταρίες ιόντων λιθίου). Αντίθετα, η κάτω αριστερή γωνία αντιπροσωπεύει μεγαλύτερα συστήματα (π.χ., αντλούμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα). Οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων με υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, λόγω του συμπαγούς μεγέθους τους, χρησιμοποιούνται

ευρέως στις μεταφορές, στον εξοπλισμό επικοινωνιών και στα συνδεδεμένα στο δίκτυο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 4 Ταξινόμηση ESS με βάση την πυκνότητα ενέργειας και ισχύος (Fang, Shek & Sun, 2025).

Το Σχήμα 5 παρουσιάζει την ονομαστική ισχύ και τον χρόνο εκφόρτισης στην ονομαστική ισχύ για διάφορες τεχνολογίες ESS. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι η ηλεκτρική αποθήκευση είναι καταλληλότερη για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες νικελίου-μετάλλου υδριδίου, νικελίου-καδμίου και μολύβδου-οξέος έχουν μικρότερους χρόνους εκφόρτισης. Εν τω μεταξύ, οι μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου, ροής βρωμίου ψευδαργύρου και νατρίου-θείου, με μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ και μεγαλύτερους χρόνους εκφόρτισης, παρουσιάζονται ως πολλά υποσχόμενες για συστήματα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας, συνδεδεμένα στο δίκτυο. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, ως η πιο ευρέως εμπορευματοποιημένη τεχνολογία αποθήκευσης, προσφέρουν πλεονεκτήματα στο μέγεθος της μονάδας και την χωρητικότητα αποθήκευσης, κερδίζοντας ευρεία αποδοχή στην αγορά για εφαρμογές αποθήκευσης μέσης και χαμηλής ονομαστικής ισχύος.



Σχήμα 5 Ταξινόμηση ESS με βάση την ισχύ και το χρόνο εκφόρτισης (Fang et al., 2025).

Σύμφωνα με τους delPero, C., et al. (2018) οι μπαταρίες επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Η ισχύς ή/και η ενέργεια και το βάθος εκφόρτισης είναι σημαντικές παράμετροι, όπως όμως και το κόστος, η ασφάλεια, οι εγγυημένες συνθήκες, η θερμοκρασία, η διάρκεια ζωής του κύκλου, η συντήρηση, η διαθεσιμότητα χώρου. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι μπαταριών διαθέσιμοι στην αγορά, με πολυάριθμες τεχνικές παραμέτρους και χωρητικότητα, που κυμαίνονται από μερικές kWh έως δεκάδες MWh. Για εφαρμογές σε κτήρια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μπαταρίες από τις ακόλουθες ομάδες (IRENA, 2015)

Technology	Cycle number	Energy density	Cost
		[Wh/kg]	[\$/kWh]
Lead-acid	<1000	50	150–160
Molten salt	<3000	60	600
Lithium-ion	500–25,000	80–200	250–2200

Πίνακας 1 Βασικά τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών συσσωρευτών (delPero et al., 2018) από IRENA, (2015).

Οι Deguenon, Yamegueu, Moussakadri & Gomna, (2023) παρουσιάζουν αναλυτικά τις τεχνολογίες των μπαταριών, αναφέρουν για την ηλεκτροχημική αποθήκευση ενέργειας ότι υπάρχει μια ποικιλία τεχνολογιών, όπως ιόντων-λιθίου (Li-ion), μολύβδου-οξέος (Pb-Acid), νικελίου-μεταλλικού υδριδίου (Ni-MH), θειούχου νατρίου (Na-S), νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), χλωριούχου νατρίου-νικελίου (NaNiCl₂) και αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες ροής (FBES) και παρουσιάζουν αναλυτικά τεchnοοικονομικά στοιχεία για μεγάλο πλήθος τεχνολογιών μπαταρίας.

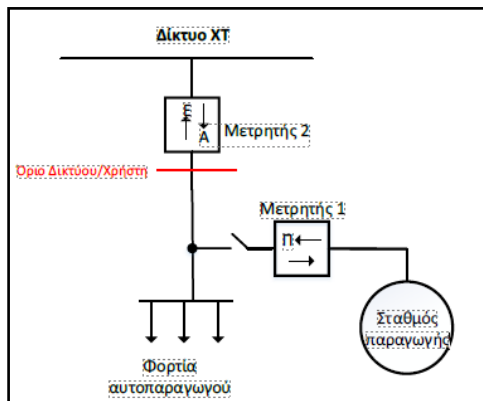
Η οικονομική κερδοφορία μιας τέτοιας λύσης εξαρτάται από διάφορους βασικούς παράγοντες όπως τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης (αριθμός ηλιόλουστων ημερών, περίοδος αποθήκευσης ενέργειας κ.λπ.), το μέγεθος της εγκατάστασης και της αποθήκευσης, το κόστος της ίδιας της επένδυσης και τις νομικές και συστημικές συνθήκες που καθορίζουν τις αρχές συνεργασίας των φωτοβολταϊκών μικροεγκαταστάσεων με το ενεργειακό δίκτυο, όπως περιγράφονται από τους Borek και Romaniu (Neugebauer, d'Obyrn & Sołowiej, 2024).

1.4. To Net – metering

Σύμφωνα με τον ΔΕΔΔΗΕ (2019) για την εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού (net-metering) από αυτοπαραγωγούς ο ενεργειακός συμψηφισμός είναι η διαδικασία συμψηφισμού της εγγεόμενης ενέργειας στο δίκτυο, από σταθμό παραγωγής, με την απορροφούμενη ενέργεια της εγκατάστασης του καταναλωτή-αυτοπαραγωγού. Αφορά σταθμούς παραγωγής οι οποίοι εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης και συνδέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της ίδιας παροχής. Το σημαντικό είναι ότι η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη.

Για τη διαστασιολόγηση ενός σταθμού στο συγκεκριμένο πρόγραμμα προτείνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ να λαμβάνεται υπόψη η ετήσια κατανάλωση της προς συμψηφισμό παροχής και να μην υπερβαίνει η ετήσια παραγόμενη από το σταθμό ενέργεια την ετήσια κατανάλωση (ΔΕΔΔΗΕ, 2019).

Η εγκατάσταση σε δίκτυο ΧΤ πραγματοποιείται όπως στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6 Απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης ΧΤ (ΔΕΔΔΗΕ, 2019)

Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδει ο προμηθευτής, με τελική εκκαθάριση στον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδεται με την παρέλευση της τριετίας από την ενεργοποίηση του σταθμού. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά τριετία μέχρι τη λήξη της Σύμβασης Ενεργειακού Συμψηφισμού. Ως χρεωστέα ενέργεια (για το ανταγωνιστικό σκέλος του τιμολογίου) λογίζεται η διαφορά των ποσοτήτων που καταγράφονται από το Μετρητή 2, δηλαδή η διαφορά A (Απορροφώμενη) – E (Εγχυόμενη), εφόσον η διαφορά αυτή είναι θετική. Εάν η διαφορά ισούται με μηδέν δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ εάν η διαφορά είναι αρνητική επίσης δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ η διαφορά αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εγχεόμενη ενέργεια. Τυχόν παραμένον μετά την εκκαθάριση της τριετίας πλεόνασμα δεν πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό.

1.5. Το Net-Billing

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ypen.gov.gr) το νέο πλαίσιο για την αυτοκατανάλωση ενέργειας, όπως θεσπίστηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, εισάγει ένα σύστημα ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα, ανεξαρτήτως τάσης δικτύου, μπορούν πλέον να εξισορροπούν σε πραγματικό χρόνο την ενέργεια που καταναλώνουν με την ενέργεια που παράγουν από έναν ή περισσότερους σταθμούς Ανανεώσιμων Πηγών

Ενέργειας (ΑΠΕ). Για την ενέργεια που παράγεται αλλά δεν καταναλώνεται άμεσα, προβλέπεται αποζημίωση με βάση τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.

Το σύστημα αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία. Οι σταθμοί ΑΠΕ μπορούν να ανήκουν είτε στον ίδιο τον καταναλωτή είτε σε κάποιον τρίτο. Μπορούν να είναι εγκατεστημένοι στον ίδιο χώρο με την κατανάλωση (net-billing) ή σε οποιαδήποτε άλλη τοποθεσία εντός του εθνικού δικτύου (virtual net-billing). Επιπλέον, ένας τρίτος πάροχος, ως ιδιοκτήτης του σταθμού, έχει τη δυνατότητα να προσφέρει στον καταναλωτή μια εγγυημένη, σταθερή τιμή για την παραγόμενη ενέργεια. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει σε εταιρείες ενέργειας να αναπτύσσουν συστήματα ΑΠΕ, με ή χωρίς αποθήκευση, για λογαριασμό των πελατών τους, ενισχύοντας έτσι τον ανταγωνισμό στη λιανική αγορά. Μέσω αυτού του μοντέλου, οι καταναλωτές μετατρέπονται σε ενεργούς συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας. Έχουν την ευκαιρία να επωφεληθούν από το χαμηλό κόστος της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ και ταυτόχρονα να προστατευτούν από τον κίνδυνο μελλοντικών αυξήσεων στις τιμές των λογαριασμών ρεύματος.

Ο τρόπος αποζημίωσης για την πλεονάζουσα ενέργεια διαφοροποιείται:

Για τους οικιακούς αυτοκαταναλωτές με συστήματα ισχύος έως 10.8 kW, το οικονομικό όφελος από την ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο αποδίδεται ως πιστωτική εγγραφή στον εκκαθαριστικό λογαριασμό του παρόχου τους.

Για τις επιχειρήσεις και τους μεγαλύτερους καταναλωτές με συστήματα άνω των 10.8 kW, τα έσοδα από την πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας καταβάλλονται απευθείας στον τραπεζικό τους λογαριασμό.

Ειδική μέριμνα υπάρχει για τη συλλογική αυτοκατανάλωση, όπου οι ιδιοκτήτες διαμερισμάτων σε μια πολυκατοικία μπορούν να συνεργαστούν για την εγκατάσταση ενός κοινού φωτοβολταϊκού συστήματος, είτε στη στέγη του κτιρίου είτε σε άλλο χώρο για τον οποίο έχουν το νόμιμο δικαίωμα χρήσης.

Η μετάβαση από το προηγούμενο καθεστώς του net-metering στο νέο σύστημα net-billing έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι απλή, απαιτώντας μόνο μια γνωστοποίηση στον διαχειριστή του δικτύου. Το νέο μοντέλο έρχεται να διορθώσει αδυναμίες του παρελθόντος, όπως η μείωση της περιόδου εκκαθάρισης από τρία χρόνια σε ένα. Η θεμελιώδης αρχή του ταυτοχρονισμού της παραγωγής με την κατανάλωση διασφαλίζει ότι η αξία της

συμψηφιζόμενης ενέργειας αποτυπώνεται ρεαλιστικά, αποτρέποντας τη δημιουργία οικονομικών ανισορροπιών στην αγορά.

Η προώθηση της αυτοκατανάλωσης αποτελεί κεντρική κυβερνητική πολιτική, εναρμονισμένη με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για την ενδυνάμωση του ρόλου των καταναλωτών-παραγωγών (prosumers). Παράλληλα, το Υπουργείο δίνει ισχυρή ώθηση στην ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης (μπαταριών). Η χρήση μπαταριών μεγιστοποιεί το οικονομικό όφελος για τον αυτοκαταναλωτή, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ικανότητα του ηλεκτρικού δικτύου να ενσωματώνει περισσότερη ενέργεια από ΑΠΕ, απελευθερώνοντας κρίσιμο ηλεκτρικό χώρο.

1.6. Ανάγκες και προκλήσεις στη μετάβαση από το Net – metering στο Net – Billing

Στην εργασία των Mascherbauer, Martínez, Mateo, Yu & Kranzl, (2025) παρατηρείται ότι η ηλεκτροδότηση των οικιακών ενεργειακών χρήσεων, όπως η θέρμανση και οι μεταφορές, θα αποτελέσει πρόκληση για τα μελλοντικά σχέδια ανάπτυξης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως στο δίκτυο χαμηλής τάσης όπου γίνεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και φορτίων. Παρατηρούν ότι τα κίνητρα για τη μεταφορά των φορτίων σε ώρες εκτός αιχμής, με αυτοματοποιημένα συστήματα θέρμανσης και φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων, μειώνει την πίεση στο τοπικό δίκτυο διανομής όχι όμως στην περίπτωση από υψηλό ποσοστό παραγωγών – καταναλωτών.

Στη συγκριτική μελέτη που έκαναν για την ανάγκη μελλοντικών επεμβάσεων στα ηλεκτρικά δίκτυα της Μούρθια της Ισπανίας (περιοχή θερμού κλίματος) και το Λέουβαρντεν της Ολλανδίας (περιοχή ψυχρότερου κλίματος) κατέληξαν ότι ο αριθμός των επεμβάσεων ενίσχυσης από τον εξηλεκτρισμό αυτών των αστικών περιοχών στη Μούρθια είναι μικρότερος από ότι στο Λέουβαρντεν, επειδή υπάρχει ήδη ένα σημαντικό ποσοστό νοικοκυριών με ηλεκτρική θέρμανση στη Μούρθια. Η Μούρθια παρουσιάζει υψηλότερη επικράτηση πολυκατοικιών με συγκριτικά μειωμένη επιφάνεια στέγης ανά νοικοκυριό, η οποία μπορεί να διατεθεί σε εγκαταστάσεις ηλιακών φωτοβολταϊκών. Τα αποτελέσματα για το Λέουβαρντεν δείχνουν ότι το δίκτυο θα απαιτήσει εκτεταμένο κόστος ενίσχυσης έως το 2040, λόγω τόσο της υψηλής αύξησης της ζήτησης από τις Α/Θ

και τα ηλεκτρικά οχήματα όσο και των μεγάλων διακυμάνσεων τάσης που παρατηρούνται κατά την ημέρα της αιχμής της ζήτησης και της τροφοδοσίας, αντίστοιχα.

Στην εργασία επίσης των Trela & Dubel (2022) για τη βιωσιμότητα της σύζευξης Α/Θ με Φ/Β συγκρίνοντας τα δύο καθεστώτα συμψηφισμού για την Πολωνία καταγράφεται ως δεδομένο το πρόβλημα που σχετίζεται με την ποιότητα και την χωρητικότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Παρατηρούν ότι η αυξανόμενη παροχή φωτοβολταϊκής ενέργειας από τις στέγες του δικτύου δεν συγχρονίζεται κατάλληλα με τη ζήτηση ενέργειας, προκαλώντας έτσι πίεση από υπερβολική παραγωγή ενέργειας στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στις στέγες θεωρείται από τους παρόχους ενέργειας ως μη αξιόπιστη πηγή παροχής ενέργειας. Επιπλέον, οι πελάτες με συμψηφισμό θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν πλήρως στα γενικά έξοδα του δικτύου. Ως εκ τούτου, ο Διεθνής Οργανισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) υποστηρίζει πιο ώριμους μηχανισμούς αποζημίωσης που να αποτυπώνουν την πραγματική αξία της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, η συμψηφιστική χρέωση αναγνωρίζεται, επειδή είναι ένας μηχανισμός αποζημίωσης που βασίζεται στην αγορά, όπου η αποζημίωση των παραγωγών-καταναλωτών βασίζεται στην πραγματική αγοραία αξία της ενέργειας που καταναλώνεται ή εγχέεται στο δίκτυο. Επίσης καταγράφουν ότι το σχήμα του net – billing εφαρμόζεται ήδη στην Ινδονησία, την Ιταλία, το Μεξικό, την Πορτογαλία και στη Νέα Υόρκη των Η.Π.Α. με τα οφέλη να σχετίζονται με την αυξημένη ευελιξία του συστήματος, μέσω της εντατικοποίησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές, ώστε να αυτοκαταναλώνουν και να εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο όταν οι τιμές είναι υψηλές, καθώς και να αποσύρουν ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο όταν οι τιμές είναι χαμηλές. Τέλος παρατηρούν ότι οι εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν περισσότερη ενέργεια από ότι χρειάζεται το κτίριο. Αυτό γίνεται αντιληπτό αρνητικά σε σχέση με πιθανή ανάγκη για αυξημένα λειτουργικά αποθέματα, πιθανή ανάγκη για αυξημένη εφεδρική χωρητικότητα, πιθανώς αρνητικό αντίκτυπο στη σταθερότητα του δικτύου και την αξιοπιστία του.

Στην εργασία των Benalcazar, Kalka & Kamiński (2024) φαίνεται ότι το net-metering δεν ενθαρρύνει σε όρους αυτοκατανάλωσης και αυτάρκειας τη χρήση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κάτι που ενθαρρύνεται από το εθνικό πλαίσιο του net-billing (ypen.gov.gr) και καταδεικνύεται και στην προαναφερθείσα εργασία, όπου οι δείκτες

αυτοκατανάλωσης και αυτάρκειας είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι σε σχέση με το net-metering με και χωρίς χρήση μπαταριών. Αυτό φέρνει αποσυμφόρηση του ηλεκτρικού δικτύου από ενέργεια εγχεόμενη ή ενέργεια ζήτησης και στο επίπεδο της αγοράς.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Αναζήτηση και επισκόπηση αναφορών

2.1.1. Οι βάσεις δεδομένων

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε είναι μια από τις μεγαλύτερες όπως το Scopus, ωστόσο, έγινε αναζήτηση και στο googlescholar, αλλά, η συντριπτική πλειοψηφία των αποτελεσμάτων ήταν μέσω του Elsevier, Energies από MDPI, Sustainability από MDPI και Springer. Τέλος, έγινε αναζήτηση πηγών και στο apotheosis.eap.gr για το αντικείμενο μελέτης χωρίς ευρήματα σε επίπεδο διδακτορικής διατριβής.

Στη βάση δεδομένων του Scopus υπάρχει πρόσβαση στις πηγές μέσω του πανεπιστημίου και μια μεγάλη ευχρηστία σε επίπεδο φίλτρων πέρα από τις λέξεις κλειδιά.

2.1.2. Οι πηγές και η επιλογή τους

Οι πηγές που επιλέχθηκαν σε αυτή τη φάση της μελέτης είναι τα δημοσιευμένα άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά και ένα μεταπτυχιακό βιβλίο ως έγκυρες πηγές.

Για την εύρεση των άρθρων στο πεδίο της έρευνας της διπλωματικής εφαρμόστηκαν διαδοχικά οι λέξεις κλειδιά σε διάφορους συνδυασμούς μεταξύ τους στη βάση δεδομένων του Scopus.

Αρχικά έγινε αναζήτηση με τις λέξεις «PV AND "heat pump"» και εμφανίστηκαν περί τα 1800 αποτελέσματα. Σε αυτά τέθηκε ένα φίλτρο χρονολογίας δημοσίευσης, από το 2015 και μετά, ώστε να μην αναλωθεί η έρευνα σε πολύ παλιές δημοσιεύσεις που μπορεί να βασίζονται σε παλαιότερες τεχνολογίες ή τεχνολογίες με αποδόσεις που έχουν ξεπεραστεί. Τα αποτελέσματα περιορίστηκαν στα 1500 περίπου πράγμα που καταδεικνύει ότι το αντικείμενο μελέτης απασχολεί εντονότατα την επιστημονική κοινότητα την τελευταία 10ετία. Από εκεί ξεκίνησε μια διαλογή με κριτήρια τον αριθμό δημοσιεύσεων του εκάστοτε άρθρου (citations), τη σύζευξη φ/β με αντλία θερμότητας αέρα – νερού και τη

γεωγραφική περιοχή της έρευνας αλλά και τη σκοπιά από την οποία αναλύθηκε το θέμα του άρθρου.

Για τα πιο ειδικά αντικείμενα της διπλωματικής έγινε έρευνα με τις λέξεις :

«"techno economic analysis" AND pv AND "heat pump"» με 35 αποτελέσματα,

«PV AND "heat pump" AND batteries» με 406 αποτελέσματα

και στη συνέχεια περιορισμός τους ως

«pv AND "heat pump" AND batteries AND "storage system"» με 124 αποτελέσματα

και

«"net metering" AND "net billing"» με 71 αποτελέσματα.

Το μεταπτυχιακό βιβλίο είναι σύγγραμμα το οποίο πραγματεύεται τον υπολογισμό και την τεχνολογία για τη θέρμανση και τον κλιματισμό στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

2.1.3. Η οργάνωση της βιβλιογραφίας

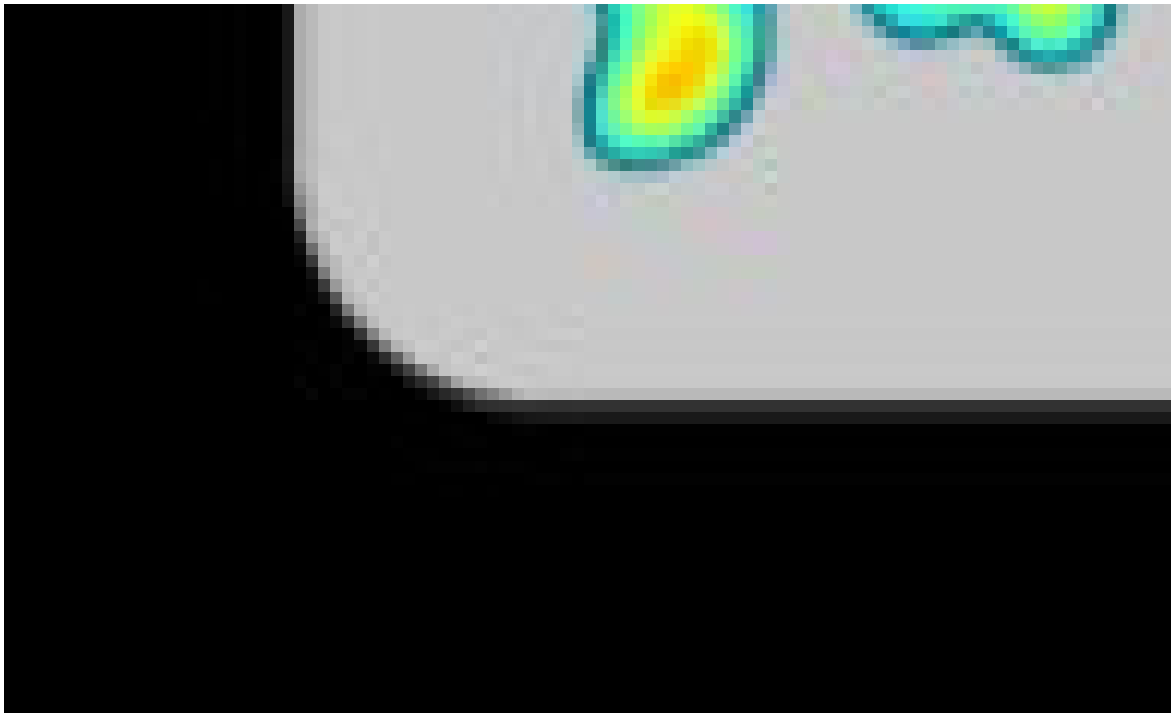
Για την οργάνωση της βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Mendeley στο οποίο εισήχθησαν οι επιλεγμένες αναφορές από το Scopus. Αρχικά έγινε ένας έλεγχος για διπλή εισαγωγή αναφορών και στη συνέχεια ξεκίνησε η κριτική διαλογή μέσω της περίληψης και των λέξεων κλειδιά που περιείχε η κάθε αναφορά.

Οι επιλεγείσες αναφορές οργανώθηκαν σε νέο φάκελο (collection) μέσα στο λογισμικό και στη συνέχεια έγινε η εξαγωγή τους σε ένα αρχείο RIS – Research Information Systems.

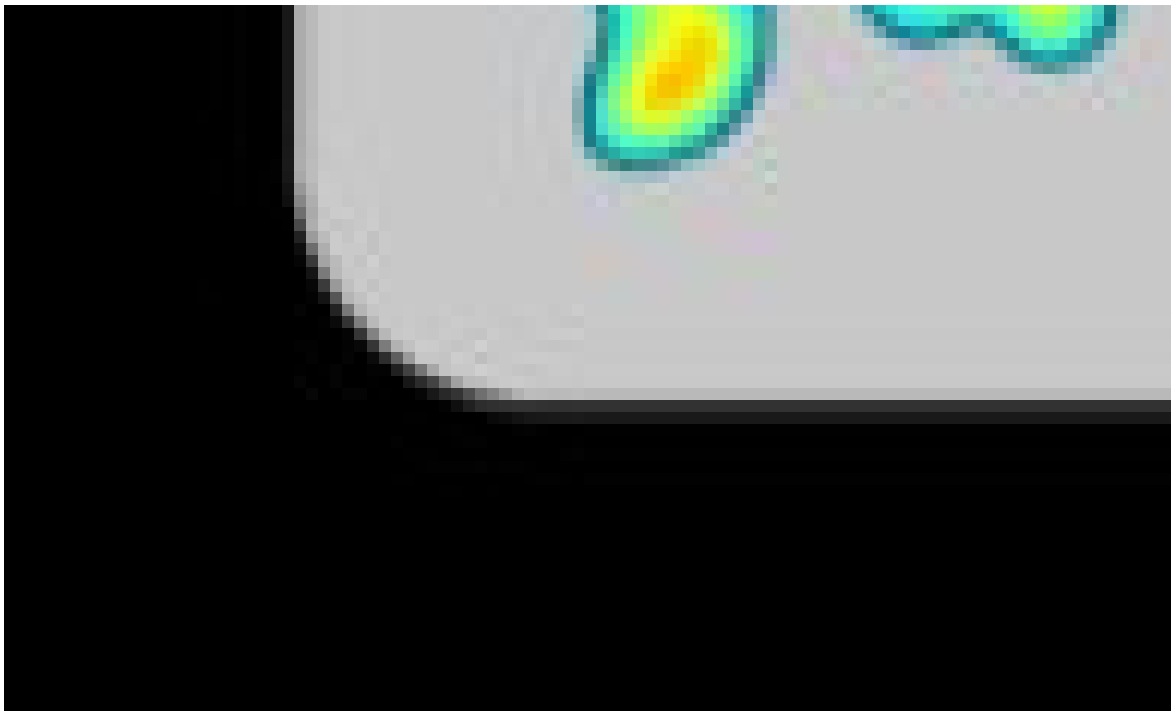
Για την οπτικοποίηση των αναφορών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Vosviewer.

Αρχικά έγινε η επιλογή συν-παραπομπής λέξεων - κλειδιά με πλήρη καταμέτρηση. Το αποτέλεσμα έδωσε τις ομάδες διασύνδεσης των λέξεων όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.

Από την οπτικοποίηση των λέξεων – κλειδιά βλέπουμε ότι υπάρχουν 4 ισχυροί πόλοι στη βιβλιογραφική αναζήτηση οι οποίοι είναι τα φωτοβολταϊκά, οι αντλίες θερμότητας, η αποθήκευση ενέργειας και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρίες). Οι λέξεις αυτές συνδέονται με επιμέρους λέξεις όπως το κόστος, η βελτιστοποίηση, η κερδοφορία – βιωσιμότητα, ο ενεργειακός συμψηφισμός κ.α.



Εικόνα 6 Οπτικοποίηση λέξεων κλειδιά με το VOSviewer



Εικόνα 7 Οπτικοποίηση αρθρογράφων με το VOSviewer

Όσον αφορά τους αρθρογράφους Από τα άρθρα και βιβλία προέκυψαν 137 συγγραφείς οι οποίοι ομαδοποιούνται σε 29 ομάδες συζεύξεων. Προφανώς δεν υπάρχουν συν-παραπομπές των μελετών παρά μόνο ο/η αρθρογράφος Zhang εμφανίζεται σε 2 άρθρα.

Γενικότερα ως προς τα πεδία μελέτης παρατηρείται μειωμένη βαρύτητα όσον αφορά το profitability (κερδοφορία – βιωσιμότητα), το συμψηφισμό και την αυτοκατανάλωση, σε συνδυασμό με τις κλιματικές ζώνες. Οπότε αυτή είναι μια πρώτη ένδειξη για τη στόχευση της εργασίας ώστε να συμβάλει στην επιστημονική έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο της επιστήμης.

2.2. Θεωρητική προσέγγιση

Αρκετοί ερευνητές, όπως οι Liu et al. (2019), οι Wang et al. (2020) και άλλοι συγκλίνουν στο ότι η σύζευξη των Α/Θ με συστήματα ΑΠΕ επηρεάζονται από το φορτίο που έχει να αντιμετωπίσει η Α/Θ με βασική παράμετρο τη θερμική θωράκιση του κτηρίου, η οποία σε συνδυασμό με την όποια εγκατάσταση ΑΠΕ συμβάλλουν στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτηρίων.

Αρκετές πηγές, όπως οι Bellos et al. (2016) καταλήγουν ότι η πιο ελκυστική λύση σύζευξης ΑΠΕ με Α/Θ για οικιακές εγκαταστάσεις και κόστος ενέργειας περί τα 0,2€/kWh είναι το Φ/Β οροφής και για μεγαλύτερο κόστος το Φ/Β με παραγωγή και θερμότητας (PV/T).

Η αποθήκευση ενέργειας σε δεξαμενές νερού έχει μικρή επίδραση στην ετεροχρονισμένη διάθεση της ενέργειας, εκτός από πολύ μεγάλες διακυμάνσεις του κόστους ενέργειας, όπως δείχνει η μελέτη των Bee et al. (2018) και άλλων.

Η μετάβαση από το σύστημα του ενεργειακού συμψηφισμού στην αυτοπαραγωγή με ταυτοχρονισμένο συμψηφισμό προέκυψε από την αδυναμία του δικτύου να ανταποκριθεί στις μεταβολές της διακινούμενης ενέργειας μεταξύ του χρόνου παραγωγής και ζήτησης της ενέργειας, αλλά, και του επηρεασμού που δέχεται η αγορά ενέργειας από τις μεταβολές προσφοράς και ζήτησης ενέργειας.

Σε μελέτη μεγαλύτερης κλίμακας για την ενσωμάτωση ΑΠΕ στα κτήρια και την ενεργειακή αυτάρκεια οι Skandalos & Karamanis (2025) προχωρούν σε μεγαλύτερη κλίμακα ως μέρος της παραγωγής ενέργειας και διαμοιρασμού σε μια ενεργειακή κοινότητα επιπέδου γειτονιάς στα Ιωάννινα. Συμπερασματικά προκύπτει ότι λόγω των πολλών κτηρίων πρέπει να εφαρμοστούν διάφορα συστήματα Φ/Β (οροφής, όψεων κλπ) υπερκαλύπτοντας την ενεργειακή ζήτηση. Ο λόγος απόδοσής τους έφτασε στα 1637 kWh/kWp αναδεικνύοντας το τεχνολογικό δυναμικό των φωτοβολταϊκών συστημάτων υψηλής ποιότητας σε αστικά περιβάλλοντα. Όμως η ωριαία αντιστοίχιση φορτίου αποκάλυψε περιορισμούς στην αυτάρκεια σε πραγματικό χρόνο χωρίς αποθήκευση. Η γειτονιά πέτυχε αρχική αντιστοίχιση φορτίου μόνο 39,1% ενώ με την ενσωμάτωση ηλεκτρικών συσσωρευτών βελτίωσε σημαντικά την ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνοντας βελτίωση της ωριαίας αντιστοίχισης φορτίου της γειτονιάς στο 81%, ενώ ο δείκτης αυτάρκειας (SSR) αυξήθηκε στο 78,4%, υπογραμμίζοντας τον ουσιαστικό ρόλο της αποθήκευσης στη μείωση της εξάρτησης από τις εισροές ενέργειας από το δίκτυο και στην ενίσχυση της ενεργειακής ανθεκτικότητας, αλλά, υποδεικνύοντας ταυτόχρονα ότι η οικονομική αποδοτικότητα πρέπει να καθοδηγεί την επιλογή των μεγεθών των μπαταριών.

Η κάθε πηγή μελέτησε το θέμα σε διαφορετική γεωγραφική θέση (διαφορετικά κλιματικά δεδομένα, φορτία, προσπίπτουσα ακτινοβολία), από ψυχρότερα κλίματα όπως οι Trela & Dubel (2022) και οι Benalcazar et al. (2024) για την Πολωνία έως την Ελλάδα για την κλιματική ζώνη Β από τους Stamatellos et al. (2021).

Υπάρχει πληθώρα συμπερασμάτων για τεχνοοικονομικά αποτελέσματα (βιωσιμότητα) Φ/Β εγκαταστάσεων και άλλων ΑΠΕ για Α/Θ στη γενική περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, αλλά, για την αυτοπαραγωγή και τον ταυτοχρονισμένο συμψηφισμό περιορίζονται στην Φ/Β εγκατάσταση ως επένδυση.

Μεγάλο μέρος των πηγών χρησιμοποίησε το υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης TRNSYS για τους ενεργειακούς υπολογισμούς και τα οικονομικά αποτελέσματα. Το TRNSYS χρησιμοποιείται ευρέως σε προσομοιώσεις ενεργειακών συστημάτων κτιρίων. Η απόδοση αυτού του λογισμικού σε σύγκριση με πειραματικά αποτελέσματα και αποτελέσματα άλλων τυπικών εργαλείων για την ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων είναι καλά τεκμηριωμένη (Stamatellos, Zogou & Stamatelos, 2021).

2.3. Μελέτες περίπτωσης και προβληματισμοί

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι μελέτες περίπτωσης που μελετήθηκαν από την πρόσφατη βιβλιογραφία σε σχέση με τη σύζευξη διαφόρων ΑΠΕ και των Α/Θ σε διάφορα οικονομικά και γεωγραφικά – κλιματικά περιβάλλοντα μέσα από τα οποία δημιουργήθηκαν διαφορετικά ερωτήματα ανά περίπτωση.

Από την εργασία των Baggio et al. (2018) για κατοικία με net-metering στο Μιλάνο έγινε σαφές ότι στα πλαίσια της ιταλικής πολιτικής επιδότησης – αγοράς της ενέργειας, προτεραιότητα σε όρους οικονομικούς πρέπει να δίνεται στην πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας αφού η αυτοκατανάλωση, μέσω του αλγορίθμου που πρότειναν για μεταβολή του setpoint, ανάλογα με την παραγωγή, θα αυξανόταν, αυξάνοντας όμως και το τελικό κόστος του λογαριασμού με μειωμένη απορρόφηση από το δίκτυο.

Από τη σκοπιά της βελτιστοποίησης του μεγέθους της εγκατάστασης οι Stamatellos et al (2021), αναγνωρίζοντας την έλευση του netbilling, κάνουν μελέτη βελτιστοποίησης του μεγέθους του PV και ευαισθησίας στις μεταβολές τιμών της ενέργειας καταλήγοντας ότι η βέλτιστη ισχύς είναι 4,8kWp, διπλάσια από τον υπολογισμό που έγινε με το Compliance Manual for the 2019 California Building Energy Efficiency Standards για οικία με ίδιο μέγεθος και κλίμα, ισοσκελίζοντας όμως την ετήσια κατανάλωση με την παραγωγή και ότι στο σχήμα του netmetering με τα 12kWp εγκατάστασης που μπορεί να δεχθεί η στέγη.

Ακόμη και με χαμηλή τιμή επιδότησης στα 0,077€/kWh της εργασίας των Schreurs et al. (2021) για κατοικίες στη Βιέννη της Αυστρίας τόσο για το σχήμα PV+ASHP όσο και το PV+GSHP παραμένει κερδοφόρο ακόμη και χωρίς επιδότηση, με αυτοκατανάλωση στο 70%. Η ευαισθησία παρατηρείται στο τέλος ζωής του εξοπλισμού (20 χρόνια), ενώ η μείωση εκπομπών CO₂ για το σχήμα PV+ASHP φτάνουν το 50% σε σχέση με το φυσικό αέριο. Από τη συνολική κατανάλωση του κτηρίου με ASHP μόνο το 20,8% καλύπτεται από το PV. Στην περίπτωση μελέτης των Scandalos & Karamanis (2025) για ενεργειακή κοινότητα σε επίπεδο γειτονιάς στα Ιωάννινα, η ωριαία κάλυψη φορτίου έφτασε το 39,1% υπερκαλύπτοντας τις ανάγκες σε ετήσια βάση και 81% με μπαταρίες σε ωριαία βάση με SSR να φτάνει στο 78,4%.

Οι Neugebauer et al. (2024) για δυσμενές σενάριο κλιματικών συνθηκών όπως αυτό στη βόρεια Πολωνία, χωρίς να λάβουν υπόψη κόστη λειτουργίας και αντικατάστασης

εξοπλισμού, παρατηρούν για τη μετάβαση από το net-metering στο net-billing ότι η εγκατάσταση PV ήταν και παραμένει βιώσιμη επένδυση. Όσον αφορά την αποθήκευση καταλήγουν ότι με αύξηση 2% στις τιμές ενέργειας της Πολωνίας η εγκατάσταση χωρίς αποθήκευση πλεονεκτεί ως προς τα κόστη. Με αύξηση 5% η αποθήκευση είναι επικερδής μόνο στο net-billing ενώ με αύξηση 10% η αποθήκευση είναι επικερδής και στα δύο.

Η μελέτη των Guo, Ren, Wei & Zhai, (2024) για γραφεία στη Σαγκάι της Κίνας με χρήση PV+ASHP+Batteries+HWT έδειξε ότι το βέλτιστο σενάριο στην προτεραιότητα χρήσης ή αποθήκευσης ενέργειας είναι σε σχέση με το κόστος η προτεραιότητα στην αποθήκευση και εκφόρτιση ηλεκτρικής ενέργειας το χειμώνα - θερμότητας το καλοκαίρι ενώ σε σχέση με το SC και το SS η αποθήκευση θερμότητας το καλοκαίρι και ηλεκτρική φόρτιση μπαταριών το χειμώνα της υπερβάλλουσας ενέργειας. Επίσης, δεν επιτυγχάνεται ταυτόχρονα εξοικονόμηση σε χρήμα και ενέργεια αφού οι μπαταρίες συμβάλει περισσότερο στη μείωση απορροφούμενης ενέργειας αλλά το HWT είναι οικονομικότερο ως επένδυση. Εντέλει η μείωση ετήσιου κόστους έφτασε το 31.1%, η μείωση πρωτογενούς ενέργειας 19.4% ενώ τα SCR=1,5% και SSR=11,3%.

Στην εργασία των Wang, Quan, Zhao, Rosengarten & Mojiri (2025) αποτυπώνονται τα σημαντικά ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη από το συνδυασμό των PV/Τμε GSHP. Η αύξηση των PV/Τ αυξάνει το COP κατά 6,5% σε περιοχές με θερμοκρασίες περιβάλλοντος ακόμη και μικρότερες από 5°C. Σε περιοχές με χαμηλό φορτίο ψύξης / θέρμανσης η αύξηση των PV/Τ μειώνει έως 14% την απορρόφηση ενέργειας καλύπτοντας το 30% της απορροφούμενης ισχύος της GSHP. Ο συνδυασμός PVT+GSHP μπορεί να μειώσει 50-80% τις εκπομπές CO₂. Σε αυτές τις περιοχές η μείωση κόστους των εγκατεστημένων πάνελ και οι αυξημένες τιμές ενέργειας βελτιώνουν την ελκυστικότητα του συστήματος με το LCC να είναι μειωμένο έως 40% σε σχέση με παραδοσιακά συστήματα.

Τέλος τα συμπεράσματα από την έρευνα των Yao, Li & Wei (2025) με ένα υβριδικό σύστημα ΑΠΕ συνοψίζει πολλά από τα παραπάνω καταλήγοντας ότι παρά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ αυτές δεν είναι emissions - free. Καμία ΑΠΕ ατομικά δεν προσφέρει τη βέλτιστη λύση. Στα on - grid συστήματα τα PV & TES είναι τα πιο οικονομικά αποδοτικά με τα PV ως τα πιο βιώσιμα. Η διακοπτόμενη παροχή ενέργειας

από τις ΑΠΕ προς το δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα ενώ στα off - grid συστήματα αυξάνεται η αυτάρκεια και η ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα.

Αναφορά	Έτος	Περιοχή	Τύπος Κτηρίου	Ενσωματωμένες Τεχνολογίες	Αποδοτικότητα	Κύρια Συμπεράσματα
Baggio e tal	2025	Μιλάνο C.Z.4A (ASHRAE 90.1)	Κατοικία	PV + ASHP	Μείωση 56% των ροών προς το δίκτυο και 36% από το δίκτυο. Αύξηση 34% του τελικού λογαριασμού	Η συνεισφορά του netmetering μειώνει το κόστος ενέργειας του νοικοκυριού. Αυξάνει το ενδιαφέρον εγκατάστασης PV με ταχύτερη απανθρακοποίηση από τις κατοικίες. Δεν ενθαρρύνει την αυτοκατανάλωση.
Bellos, Tzivanidis, Moschos & Antonopoulos	2016	Αθήνα		PV + ASHP, FPC+WSHP, PVT+WSHP, FPC+PV+WSHP +ThermalTank/B ESS	Κόστος ενέργειας < 0.23€/kWh -> πιο βιωσιμο το PV+ASHP, Κόστος ενέργειας > 0.23€/kWh -> πιο βιωσιμο το PVT+WSHP	Από ενεργειακή σκοπιά τα PVT προκαλούν τη μικρότερη βαπορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, Το FPC απορροφά την περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο.
Guo, Ren, Wei, & Zhai	2024	Shangai, China	Γραφεία	PV+ASHP+Batter ies+TES	Μείωση ετήσιου κόστους 31.1%, Μείωση Πρωτ. ενέργειας 19.4%, SCR=1,5%, SSR=11,3%	Σε σχέση με το κόστος προτεραιότητα στην αποθήκευση και εκφόρτιση ηλ. ενέργειας το χειμώνα - θερμότητας το καλοκαίρι, Σε σχέση με το SC και το SS αποθήκευση θερμότητας το καλοκαίρι και ηλ. φόρτιση μπαταριών το χειμώνα της υπερβάλλουσας ενέργειας. Δεν επιτυγχάνεται ταυτόχρονα εξοικονόμηση σε χρήμα και ενέργεια αφού οι μπαταρία συμβάλει περισσότερο στη μείωση απορροφούμενης ενέργειας αλλά το HWT είναι οικονομικότερο ως επένδυση.
Jiao.et al.	2024	Κίνα	Γραφεία	PV+ASHP+Batter ies+EV+DWHP	SSR=85%, SCR(HP)=80%Edem, E _{pv} =44%Charging+28%HP+28%DWHP	Για γραφείο 73m ² με ΔΕΕ=39.7kwh,el/m ² το αποδοτικότερο σενάριο έδωσε 3 μπαταρίες (συν. 15kWh) PV=11kWp με PaybackPeriod<5χρόνια

Li, Liu, Zheng, 20224 Xie, & Zhang	Κίνα, Hot summer - Cold winter	Γραφεία	PV+ASHP+TES			Η αύξηση του ορίου εξερχόμενης ισχύος στο δίκτυο αυξάνει τη χωρητικότητα της TES με ελάχιστα οφέλη στο ετήσιο κόστος και το SCR. Η μείωση του ορίου της εισερχόμενης ισχύος αυξάνει το ετήσιο κόστος το SCR και δίνει το βέλτιστο μέγεθος της TES. Σημαντικός ο ρόλος της παραγόμενης ενέργειας από το PV, με μείωση αυξάνεται η απορ. ενέργεια από το δίκτυο & μειώνεται η εγχυόμενη αυξάνοντας τα SCR τη χωρητικότητα της TES και το ετήσιο κόστος.
Neugebauer, 2024 d'Obyrn, & Sołowiej	Βόρεια Πολωνία	Κατοικία	PV, PV+Batteries	Αύξηση 2% στις τιμές ενέργειας η εγκατάσταση χωρίς αποθήκευση πλεονεκτεί ως προς τα κόστη. Με αύξηση 5% η αποθήκευση είναι επικερδής μόνο στο netbilling ενώ με αύξηση 10% η αποθήκευση είναι επικερδής και στα δύο.		Χωρίς κόσμη λειτουργίας και αντικατάστασης εξοπλισμού από το netmetering στο netbilling ότι η εγκατάσταση PV ήταν και παραμένει βιώσιμη επένδυση.
Scandalos. & 2025 Karamanis	Ιωάννινα	Κατοικίες, Σχολείο	PV + ASHP, PV+ASHP+Batteries	Ταυτοχρονισμός φορτίου 39.1% χωρίς μπαταρίες, 81% με μπαταρίες		Οι ανάγκες καλύπτονται σε ετήσια βάση επιτυγχάνοντας NZEC>1, ωστόσο σε ωριαία βάση ακόμη και με το διαμοιρασμό υπάρχουν περιορισμοί στην autarkia χωρίς αποθήκευση.
Schreurs et al. 2021	Αυστρία	Κατοικία	PV + ASHP, PV+GSHP	Επίτευξη μεγάλου SCR = 70%, SolarFraction=20,8%		PV + ASHP και PV+GSHP κερδοφόρα με ή χωρίς επιδότηση, μεγάλη ευαισθησία στο end of life, μείωση CO2 50%, Επίτευξη μεγάλου SCR = 70%, SolarFraction=20,8%
Stamatellos et al 2021	Βόλος	Κατοικία	PV + ASHP	PV _{opt} =4,8kWp, PV=12kWp βιώσιμη στο netmetering, NPV>0 για PV<6kWp		Βέλτιστη εγκατεστημένη ισχύς PV 4,8kW με μέγιστη τα 12kW. Πρόταση για μελλοντική διερεύνηση της εγκατάστασης

συστήματος αποθήκευσης.					
Wang, Quan, 2025 Zhao, Xi'an, Rosengarten, & Mojiri	Μελβούρνη, Πεκίνο, Shenyang, Harbin	Κατοικία	PVT+GSHP	Αύξηση των PVT αυξάνει το COP κατά 6,5% σε T _{περ} <50C. Σε περιοχές με χαμηλά φορτία η μείωση κόστους των εγκατεστημένων πάνελ και οι αυξημένες τιμές ενέργειας βελτιώνουν την ελκυστικότητα του συστήματος με το LCC μειωμένο έως 40% σε σχέση με παραδοσιακά συστήματα.	Τα PVT μπορούν να υποβοηθήσουν την GSHP ακόμη και σε πολύ κρύα κλίματα μέσω προθέρμανσης. Σε περιοχές με χαμηλό φορτίο ψύξης / θέρμανσης η αύξηση των PVT μειώνει έως 14% την απορρόφηση ενέργειας καλύπτοντας το 30% της απορροφούμενης ισχύος της GSHP. Ο συνδυασμός PVT+GSHP μπορεί να μειώσει 50-80% τις εκπομπές CO ₂ .
Yao, Li, & Wei 2025	Όσλο, Μιλάνο, Νάπολη	Κατοικία	PV+HP+TES+Solar+Wind Turbine		Παρά τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ δεν είναι emissions - free. Καμία ΑΠΕ ατομικά δεν προσφέρει τη βέλτιστη λύση. Στα on - Grid συστήματα τα PV & TES είναι τα πιο οικονομικά αποδοτικά με τα PV ως τα πιο βιώσιμα. Η διακοπτόμενη παροχή ενέργειας από τις ΑΠΕ προς το δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Στα off - Grid συστήματα αυξάνεται η αυτάρκεια και η ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα.

Πίνακας 2 Βασικές μελέτες περίπτωσης και συμπεράσματα για τη σύζευξη ΑΠΕ με Α/Θ.

3. Μεθοδολογία - Στόχοι

3.1. Το ερευνητικό θέμα

Η χρήση των αντλιών θερμότητας αέρα – νερού για την παραγωγή θερμότητας για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων έχει φανεί ως ενεργειακά αποδοτική λύση και εύκολη στην υλοποίησή της ακόμη και σε περιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης κτηρίων και σε συνδυασμό με την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά σε στέγες κτηρίων ενδυναμώνεται ο ρυθμός απεξάρτησης της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα (Stamatellos, Zogou & Stamatelos, 2021) καθώς και ο μετριασμός των περιβαλλοντικών προβλημάτων από τη χρήση τους αλλά και την απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια (Bellos, Tzivanidis, Moschos & Antonopoulos, 2016).

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε στέγες κατοικιών έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια μέσω προγραμμάτων συμψηφισμού, με δημιουργία όμως προβλημάτων για το δίκτυο και την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας οδηγώντας στην πολιτική του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού (net – billing) η οποία ήρθε ως ένα μέτρο που προσφέρει οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης, με ιδιοκατανάλωση, μέτρηση και ταυτόχρονο συμψηφισμό (Benalcazar, Kalka & Kamiński, 2024).

3.2. Το ερευνητικό πρόβλημα

Η διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με συνολικό ετήσιο συμψηφισμό ενέργειας οδηγείται πλέον σε διαστασιολόγηση για κάλυψη των αναγκών κατά το χρόνο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας (αυτοκατανάλωση) και στη συνέχεια η υπολειπόμενη ενέργεια να αποζημιώνεται, σύμφωνα με τις τιμές τις αγοράς (ypen.gov.gr).

Η τεχνική για τροφοδοσία με ηλεκτρική ενέργεια μιας αντλίας θερμότητας από Φ/Β εγκατάσταση έχει καταγραφεί θετικά σε πολλές μελέτες (Al-Falahat et al., 2022), όπως και η βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Γενικότερα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το τυπικό νοικοκυριό χαρακτηρίζεται από διαφορετική περίοδο μεγαλύτερης ενεργειακής ζήτησης από την περίοδο της υψηλότερης παραγωγής ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή), ο όγκος των συναλλαγών αγοράς / πώλησης θα είναι σημαντικός σε σύγκριση με τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το νοικοκυριό. Επιπλέον, γνωρίζοντας ότι η τιμή πώλησης της ενέργειας από έναν αγοραστή σε μια ελεύθερη ανταγωνιστική αγορά είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τιμή αγοράς, συμπεριλαμβανομένου του κόστους χρήσης του δικτύου διανομής, η εισαγωγή του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητα των επενδύσεων (Trela & Dubel, 2021).

Σύμφωνα με τους Trela & Dubel (2021) στην αποδοτικότητα του παραπάνω τεχνοοικονομικού σχήματος έρχεται να παίζει το δικό του ρόλο ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

3.3. Ο σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος και της βιωσιμότητας σε τεχνοοικονομικούς όρους μιας Φ/Β εγκατάστασης σε σύζευξη με αντλία θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης - ψύξης μιας ισόγειας μονοκατοικίας στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, εμβαδού περίπου 220m², πανταχόθεν ελεύθερο, με επαρκή διαθέσιμη επιφάνεια δώματος και σύστημα θέρμανσης – ψύξης με Fan Coil Units στο επιδοτούμενο σχήμα του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού (net – billing). Επίσης θα διερευνηθούν σε τεχνοοικονομικούς όρους οι περιπτώσεις χρήσης συστήματος αποθήκευσης της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και της υπερδιαστασιολόγησης της Φ/Β εγκατάστασης για την κάλυψη του μη ταυτοχρονισμένου φορτίου από την πώληση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια αγοράς της κατά τις ώρες που δεν παράγει ενέργεια. Η τεχνοοικονομική ανάλυση θα βασιστεί σε όρους εντόκου περιόδου αποπληρωμής (ΕΠΑ), εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) και καθαρής παρούσας αξίας (Κ.Π.Α.). Μια σύντομη συγκριτική μελέτη σε ανεξάρτητες μεταβλητές όπως το

προεξοφλητικό επιτόκιο και η μεταβολή των τιμών ενέργειας θα καταδείξουν τον βαθμό στον οποίο επηρεάζεται η επένδυση από μελλοντικές μεταβολές των δεδομένων.

3.4. Ερευνητικά ερωτήματα - Σενάρια

Μέσα από την βιβλιογραφική επισκόπηση και την ανάλυση αντίστοιχων και πιο διευρυμένων casestudies, μέρος των οποίων παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3, αλλά όπως δείχνει και ο Πίνακας 3, προέκυψαν μια σειρά από ερωτήματα σε σχέση με τα αποτελέσματα και συμπεράσματα αυτών αλλά και το σκοπό της εργασίας συνοψίζοντάς τα :

- Πώς θα συμπεριφερθεί η αυτοκατανάλωση σε χαμηλές τιμές αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια ταυτοχρονισμού και ποιο το βέλτιστο μέγεθος και αρχικό κόστος επένδυσης;
- Η βέλτιστη εγκατεστημένη ισχύς ενός PV τι ημερήσιο φορτίο μπορεί να ισοσκελίσει, απαιτείται μεγαλύτερη ή ακόμη μικρότερη εγκατάσταση για ταυτοχρονισμό φορτίων και ποιο είναι το μέγεθος ;
- Μήπως η λύση της αποθήκευσης αρχίζει να διαφαίνεται;
- Ένας ταυτοχρονισμός στο φορτίο της τάξης του 20% πόσο βιώσιμη κάνει μια εγκατάσταση για μονοκατοικία όπου το κόστος εγκατάστασης / ισχύς εγκατάστασης είναι μεγάλο σε σχέση με πολυκατοικίες ή ενεργειακές κοινότητες;
- Ποια θα είναι τα αποτελέσματα της βιωσιμότητας της επένδυσης με κόστη λειτουργίας και αντικατάστασης εξοπλισμού;
- Στις κατοικίες της νότιας Ελλάδας (ως προς τις κλιματικές συνθήκες) ποια θα είναι η βιωσιμότητα της προσθήκης BESS σε εγκατάσταση PV
- Ποιο σενάριο (συνδυασμού τεχνολογιών – εγκαταστάσεων) και σε ποιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αποδίδει τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα και κερδοφορία καθώς και αυτάρκεια με αύξηση της αυτοκατανάλωσης;
- Μπορούν τα οφέλη του συνδυασμού PV/Τμε GSHP να αποδοθούν από το σύστημα PV/Τμε ASHP ή θα απαιτηθεί επιπλέον αποθήκευση ενέργειας με αύξηση του κόστους;
- Ποια θα ήταν τα αποτελέσματα σε διαφορετικό κλίμα, χωρίς τη μέθοδο χρονικής μετατόπισης φορτίου ώστε να αυξηθεί ο ταυτοχρονισμός;

- Σε χρήσεις όπως κατοικίες ή μικρότερα συγκροτήματα κατοικιών πόσο βιώσιμη θα ήταν αυτή η επένδυση με τόσο αυξημένο εγκατεστημένο τεχνολογικό εξοπλισμό και αυτοματισμό;

Έτσι καταλήγουμε στο βασικό προβληματισμό με τα τρία υποερωτήματα του ως ακολούθως:

Τι βιωσιμότητα παρουσιάζει μια Φ/Β εγκατάσταση διαστασιολογημένη:

- για να καλύψει την ημερήσια ζήτηση ενέργειας της Α/Θ για τη θέρμανση - ψύξη των χώρων
- για να καλύψει οικονομικά και το κόστος αγοράς ενέργειας από το δίκτυο τις ώρες κατά τις οποίες δεν παράγει ενέργεια διασυνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο με το σύστημα του net – billing.
- σε σύζευξη με την Α/Θ και συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας για τις ώρες που δεν παράγει ενέργεια το Φ/Β σε σχέση με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αυτές.

Αναφορά	Έτος	Περιοχή	Ενσωματωμένες Τεχνολογίες	Στόχοι	Μεθοδολογία	Βήμα Φορτίου	Δείκτες	Μοντέλο Επιδότησης
Baggio et al	2025	Μιλάνο C.Z.4A (ASHRAE90.1)	PV + ASHP	Στρατηγική ελέγχου στιγμιαίας παραγωγής από PV με αλλαγή των Setpoints	TRNSYS, TESSLIB		SCR, SSR	Netmetering
Bellos, Tzivanidis, Moschos & Antonopoulos	2016	Αθήνα	PV + ASHP, FPC+WSHP, PVT+WSHP, FPC+PV+WSHP+ThermalTank/BESS	Μελέτη Ευαισθησίας σεναρίων ως προς τις τιμές της ενέργειας, Οικονομική ανάλυση		Μηνιαίο	COP, Electric Solar Coverage (f), Solar Energy (Qs), η _{fpc} , η _{pvt} , η _{pvt} , C _{total} , C _{variable}	
Guo, Ren, Wei & Zhai	2024	Shanghai, China	PV+ASHP+Batteries+TES	Βέλτιστο σενάριο στην προτεραιότητα χρήσης - αποθήκευσης ενέργειας για μείωση της πρωτογενούς ενέργειας και απανθρακοποίηση με μετατοπιση χρονικά των φορτίων	MATLAB, ENERGYPLUS, NGA-II, TOPSIS	PV & Loads, Ωριαία, Περίοδος	TDR, EDR, SCR, SSR, LCOE, LCOS, IRR, NPV, DPP, COP	
Jiao, Wang, Xu, Han, Wang, Xu, Xu, Li, Zhang & Jiao	2024	Κίνα	PV+ASHP+Batteries+EV+DWHF	Κοινωνικά, Οικονομικά οφέλη	TRNSYS	Ημερήσιο, περίοδος Νοέμβριος - Μάρτιο 2023	SSR	

Li, Liu, Zheng, Xie & Zhang	20224	Κίνα, Hot summer - Cold winter	PV+ASHP+TES	Στρατηγική υπολογισμού TES για έλεγχο ετήσιου κόστους & μεγιστοποίηση SCR με όριο στην εισαγόμενη και εξερχόμενη ενέργεια	TRNSYS			
Neugebauer, d'Obyrn & Sołowiej	2024	Βόρεια Πολωνία	PV, PV+Batteries	Μεταβολή της βιωσιμότητας της επένδυσης σε αλλαγές τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας - 9 σενάρια	PV SOL premium 2023, Meteonorm8.1	Ωριαίο, Μηνιαίο, Ετήσιο		
Scandalos & Karamanis	2025	Ιωάννινα	PV + ASHP, PV+ASHP+Batteries	Net-Zero Energy Communities, Αυτοκατανάλωση, Αυτάρκεια		Ωριαίο, Ετήσιο	NZEC, SCR, SSR	
Schreurs et al.	2021	Αυστρία	PV + ASHP, PV+GSHP	Τεχνοοικονομική ανάλυση	BMG, EXCEL, TMY	Ωριαίο	NPV, BCR, IRR, Self-consumption, Solar Fraction, Solar Ratio	Επιδότηση 0.077€/kWh
Stamatellos et al.	2021	Βόλος	PV + ASHP	Τεχνοοικονομική ανάλυση, Βελτιστοποίηση του συστήματος για αλλαγές στις τιμές ενέργειας και στο netmetering	TRNSYS, GENOPT, TRNOPT, TMY	Ωριαίο, Μηνιαίο, Ετήσιο	NPV, kWpv Netmetering (California BEES 2019), opt. angle, number of panels	

Wang, Quan, Zhao, 2025	Μελβούρνη, Xi'an, Πεκίνο, Shenyang, Harbin	PVT+GSHP	Βιωσιμότητα PVT+GSHP σε διάφορα ψυκτικά και θερμικά φορτία	MATLAB, TRNSYS
Yao, Li & Wei	Όσλο, Μιλάνο, Νάπολη	PV+HP+TES+Solars+Wind Turbine	Βιωσιμότητα σεναρίων, Ανθρακικό αποτύπωμα των λύσεων	MATLAB, Ωριαίο TMY, PVGIS, MIGAs, NSGA-II, CDF, PESA

Πίνακας 3 Βασικά casestudies και μεθοδολογίες για τη σύζευξη ΑΠΕ με Α/Θ.

3.5. Η Μεθοδολογική προσέγγιση

Σε κάποιες περιπτώσεις ο υπολογισμός των φορτίων της Α/Θ γίνονται με απλοποιητικό τρόπο καθώς το βασικό αντικείμενο της έρευνας προσανατολίζεται στον οικονομικό αντίκτυπο των επιλογών.

Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων προσομοίωσης της συμπεριφοράς του κτηρίου ως προς το κελύφος, αλλά, και τη λειτουργία των Η/Μ συστημάτων χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο (Stammellos et al., 2021).

Για την ανάλυση ταυτοχρονισμού απαιτείται ωριαίο προφίλ ηλεκτρικού φορτίου της αντλίας θερμότητας για θέρμανση και ψύξη. Στην παρούσα εργασία τα ωριαία φορτία δεν προέκυψαν από νέα πλήρη δυναμική προσομοίωση του υπό μελέτη κτηρίου, αλλά δόθηκαν ως δεδομένα εισόδου από προγενέστερη μελέτη του επιβλέποντα, στην οποία είχε αναπτυχθεί ωριαίο προφίλ λειτουργίας κατοικίας και συστήματος θέρμανσης/ψύξης. Τα δεδομένα αυτά προσαρμόστηκαν στο υπό μελέτη κτήριο μέσω αναγωγής με βάση τα γεωμετρικά και θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του κελύφους, καθώς και τα χαρακτηριστικά του συστήματος Α/Θ.

Η επιλογή αυτή κρίθηκε επαρκής για τον σκοπό της παρούσας εργασίας, ο οποίος δεν είναι η πιστοποίηση της απόλυτης ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, αλλά η συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών σχημάτων Φ/Β–Α/Θ υπό κοινό φορτίο αναφοράς. Συνεπώς, τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται κυρίως συγκριτικά μεταξύ των σεναρίων και όχι ως ακριβής πρόβλεψη της πραγματικής ωριαίας κατανάλωσης μιας συγκεκριμένης κατοικίας.

Το TRNSYS είναι ένα εξαιρετικά ευέλικτο περιβάλλον λογισμικού βασισμένο σε γραφικά που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς μεταβλητών συστημάτων. Το TRNSYS αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο είναι μια μηχανή (που ονομάζεται πυρήνας) που διαβάζει και επεξεργάζεται το αρχείο εισόδου, λύνει επαναληπτικά το σύστημα, προσδιορίζει τη σύγκλιση και απεικονίζει γραφικά τις μεταβλητές του συστήματος. Ο πυρήνας παρέχει επίσης βοηθητικά προγράμματα που (μεταξύ άλλων) προσδιορίζουν θερμοφυσικές ιδιότητες, αντιστρέφουν πίνακες, εκτελούν γραμμικές παλινδρομήσεις και παρεμβάλλουν εξωτερικά αρχεία δεδομένων. Το δεύτερο μέρος του TRNSYS είναι μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη στοιχείων, καθένα από τα οποία μοντελοποιεί

την απόδοση ενός μέρους του συστήματος. Η τυπική βιβλιοθήκη περιλαμβάνει περίπου 150 μοντέλα που κυμαίνονται από αντλίες έως πολυζωνικά κτήρια, ανεμογεννήτριες έως ηλεκτρολύτες, επεξεργαστές μετεωρολογικών δεδομένων, εξοπλισμό HVAC έως και οικονομικές ρουτίνες. Τα μοντέλα είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε οι χρήστες να μπορούν να τροποποιήσουν υπάρχοντα στοιχεία ή να γράψουν τα δικά τους, επεκτείνοντας τις δυνατότητες του περιβάλλοντος (<https://www.trnsys.com/index.html>).

Το TRNSYS χρησιμοποιεί αρθρωτή δομή και είναι σχεδιασμένο για να λύνει πολύπλοκα προβλήματα ενεργειακών συστημάτων, διασπώντας τα σε μια σειρά μικρότερων στοιχείων. Τα στοιχεία του TRNSYS ("Types") διαμορφώνονται και συναρμολογούνται χρησιμοποιώντας μια οπτική διεπαφή. Τα δεδομένα εισόδου του κτιρίου εισάγονται μέσω μιας οπτικής διεπαφής. Μόλις καθοριστούν τα στοιχεία του συστήματος και η διασύνδεσή τους, η μηχανή προσομοίωσης λύνει το προκύπτον σύστημα εξισώσεων. Μπορούν να αναπτυχθούν νέα στοιχεία και είναι δυνατή η ενσωμάτωση στοιχείων που υλοποιούνται χρησιμοποιώντας άλλο λογισμικό. Είναι κατάλληλο για λεπτομερείς αναλύσεις συστημάτων και είναι ένα από τα προγράμματα προσομοίωσης που αναφέρονται στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (Stamatellos, Zogou & Stamatelos, 2021).

Η τεχνοοικονομική ανάλυση για τη βιωσιμότητα των σεναρίων θα χρησιμοποιήσει τις σχέσεις καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) και εντόκου περιόδου αποπληρωμής λαμβάνοντας υπόψη τιμές αγοράς με τους φόρους και επιτόκιο τρέχουσας περιόδου όπως θα κόστιζαν σε έναν ιδιώτη καταναλωτή.

3.6. Σχεδιασμός επίλυσης

Στο Διάγραμμα 1 αποτυπώνεται η ροή των εργασιών για την εκτίμηση της επίδρασης του ταυτοχρονισμένου συμψηφισμού στη σύζευξη A/Θ με Φ/B.

Αρχικά θα γίνει η συλλογή των κλιματικών δεδομένων για την περιοχή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θα καθορισθούν τα λειτουργικά και δομικά χαρακτηριστικά του χώρου και της εγκατάστασης.

Από την ανάλυση θα προκύψουν τα θερμικά κέρδη και τα τελικά θερμικά φορτία του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να γνωρίζουμε με χρήση των χαρακτηριστικών

της Α/Θ την ηλεκτρική ενέργεια που θα συμψηφίζεται κατά την παραγωγή της. Παράλληλα θα υπολογιστεί και το συνολικό φορτίο της Α/Θ για το σύνολο της περιόδου θέρμανσης - ψύξης του χώρου ανά μήνα.

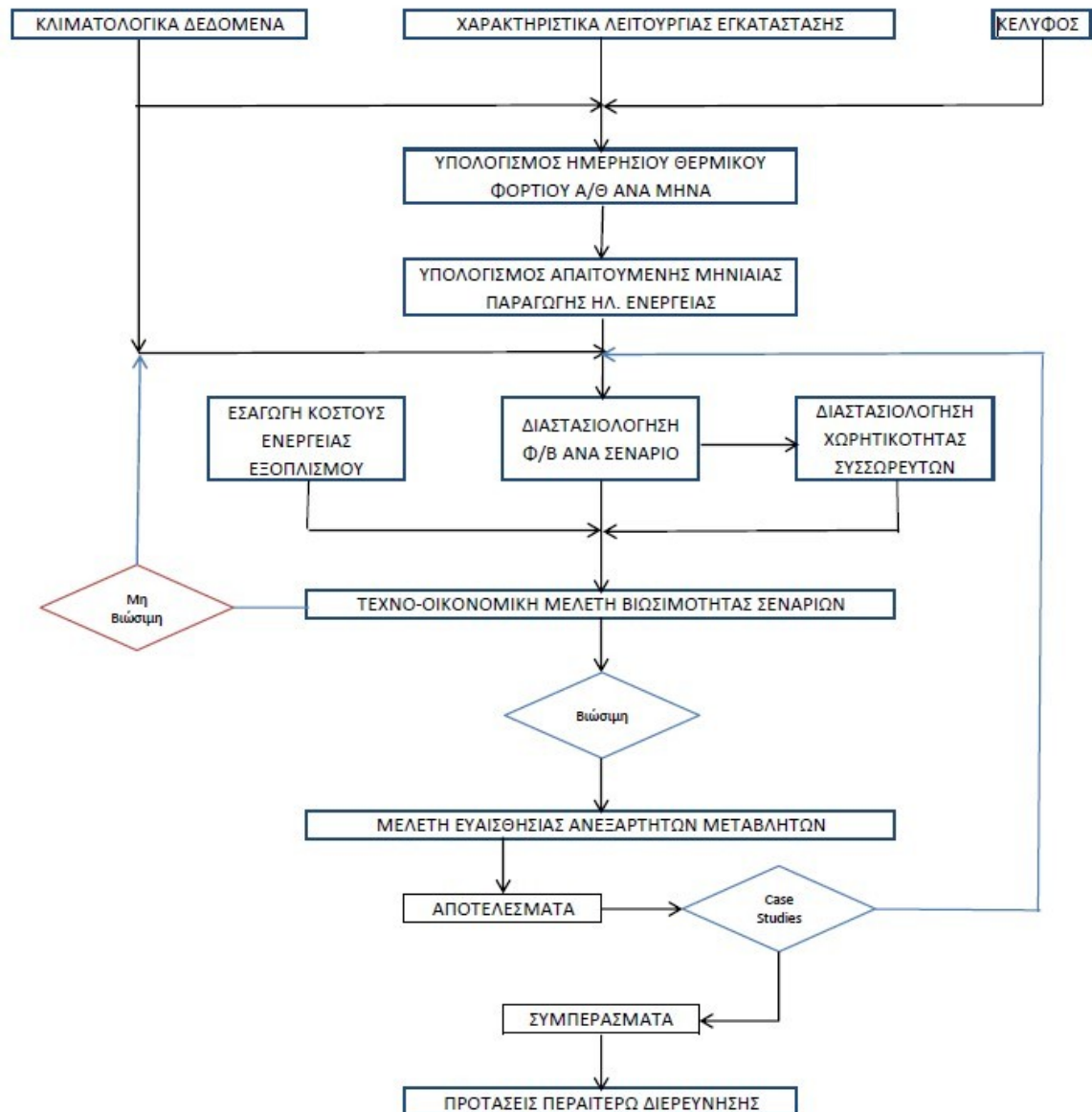
Χρησιμοποιώντας τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής για την προσπίπτουσα ακτινοβολία επιλέγοντας την επιθυμητή τεχνολογία του εξοπλισμού της Φ/Β εγκατάστασης και των συσσωρευτών και γνωρίζοντας την απαιτούμενη ενέργεια θα γίνει η διαστασιολόγηση των απαιτούμενων Φ/Β πλαισίων.

Κατόπιν χρησιμοποιώντας τα κόστη ενέργειας, λειτουργίας και εξοπλισμού γίνεται η τεχνοοικονομική μελέτη για τη βιωσιμότητα κάθε σεναρίου.

Αν το σενάριο κριθεί μη βιώσιμο, επανερχόμαστε μεταβάλλοντας τα δεδομένα που επηρεάζουν και γίνεται επανυπολογισμός.

Αν επιτυγχάνεται κάποιο επίπεδο βιωσιμότητας της επένδυσης προχωράμε στη μελέτη ευαισθησίας με μεταβολή των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Τέλος καταλήγουμε στα συμπεράσματα και προτείνουμε αντικείμενα που θα προκύψουν για περαιτέρω διερεύνηση.



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης.

3.7. SWOT analysis

Με τη SWOT Analysis (Strengths, Weakness, Opportunities and Threats analysis) καταγράφονται τα δυνατά και αδύναμα σημεία μιας μεθοδολογίας τα οποία διακρίνονται ως αυτά που μπορούμε να ελέγξουμε, τα εσωτερικά σημεία. Επίσης, καταγράφονται οι ευκαιρίες και οι κίνδυνοι που αποτελούν τα εξωτερικά σημεία που δεν μπορούμε να ελέγξουμε, αλλά, να βρούμε τρόπους να τα μετασχηματίσουμε σε ευκαιρίες .

STRENGTHS (+)	WEAKNESS (-)
ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ Α/Θ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΑΝΥΠΟΛΟΓΙΜΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΜΗ ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΗ ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΠΛΗΘΩΡΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ
OPPORTUNITIES (+)	THREATS (-)
ΠΛΗΘΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΠΛΗΘΟΣ ΑΠΟ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΣΕ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΜΙΚΡΟΣ ΟΓΚΟΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΟ NET BILLING ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟ Α/Θ ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ

Πίνακας 4 SWOT analysis

Πλεονεκτήματα

Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία που προτείνεται παρουσιάζονται δύο πλεονεκτήματα :

A) Η χρήση του δυναμικού υπολογισμού για να προκύψουν τα φορτία της Α/Θ τα οποία θα συμψηφίζονται από το Φ/Β και να προκύπτει η πλεονάζουσα ενέργεια για να αποφασιστεί αναλόγως της ποσότητας της που θα κατευθυνθεί.

B) Με τη χρήση των υπολογιστικών εργαλείων ο επανυπολογισμός των αποτελεσμάτων δεν αποτελεί χρονοπέδη, αλλά σημαντικό εργαλείο της έρευνας και του χρήστη.

Αδυναμίες

Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία που προτείνεται παρουσιάζονται δύο εσωτερικές αδυναμίες :

A) Ένας χρήστης ίσως δεν έχει την απαιτούμενη εξοικείωση με υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης, ωστόσο η βιβλιογραφία αλλά και τα ιδρύματα μπορούν να προσφέρουν

την απαιτούμενη βοήθεια και να μετατραπεί η χρήση τους σε δυνατό εργαλείο της έρευνας αλλά και του χρήστη μετέπειτα.

Ευκαιρίες

Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία που προτείνεται παρουσιάζονται δύο εξωτερικές ευκαιρίες :

A) Στη βιβλιογραφία απαντώνται πλήθος υπολογιστικών εργαλείων τα οποία όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται στις μέρες μας τα οποία μπορούν να αναπτύξουν το δυναμικό υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης, τον εύκολο επανυπολογισμό και να ταιριάζουν με τη μικρή εξοικείωση κάποιου.

B) Το ίδιο ισχύει και για τη μελέτη και χρήση της βιβλιογραφίας στον τομέα της τεchnο-οικονομικής μελέτης για την αποτίμηση της βιωσιμότητας των σεναρίων σε συνδυασμό με τη μη εξοικείωση κάποιου με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα.

Απειλές

Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία που προτείνεται παρουσιάζονται δύο εξωτερικές απειλές :

A) ο μικρός όγκος βιβλιογραφίας που αντλήθηκε σε σχέση με τον ταυτοχρονισμένο συμψηφισμό και μπορεί να μετατραπεί σε ευκαιρία ή ακόμη δυνατό σημείο για τη μελέτη να πρωτοπορήσει αφού μιλάμε για ένα επιδοτούμενο πρόγραμμα το οποίο ακόμη δεν έχει δώσει δείγματα εμπειρίας στην πράξη.

B) το μεγάλο πλήθος μεταβλητών που πρέπει να διαχειριστεί ο χρήστης είναι κάτι που δεν μπορεί να μειώσει γιατί θα υποβαθμίσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, μπορεί όμως με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών να ελαχιστοποιήσει τον απαιτούμενο χρόνο υπολογισμών ή να επιτύχει την ορθή επιλογή τους κάνοντας match με την αδυναμία του χρήστη σε υπολογιστικά προγράμματα ενεργειακής ή τεchnο-οικονομικής προσομοίωσης.

4. Δεδομένα μελέτης – Προσομοίωση φορτίου θέρμανσης/ψύξης - Διαστασιολόγηση

4.1. Κλιματικά δεδομένα

Η μελέτη εκπονείται για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης. Τα θερμοκρασιακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν από τις TOTEE 20701 – 1 / 2017 και TOTEE 20701 – 3 / 2010 3η έκδοση.

Η ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία για κλίση 15° και αζιμούθιο 0° συλλέχθηκε από το διαδικτυακό τόπο του Joint Research Center of European Commission Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) για τα 5 τελευταία διαθέσιμα έτη 2019 έως 2023, για την περιοχή του Ηρακλείου χωρίς εμπόδια από ορίζοντα με χρήση της βάσης δεδομένων PVGIS-SARAH3. Στη συνέχεια υπολογίστηκε και χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των 5 ετών για κάθε ώρα της ημέρας. Η επιλογή της κλίσης των 15° έγινε ως μια τιμή η οποία επιλέγεται πολύ συχνά στις κατασκευαστικές λύσεις σε εγκατάσταση φ/β σε δώμα ισογείου για τον περιορισμό της οπτικής επαφής με τα πλαίσια.

4.2. Κτήριο μελέτης και χαρακτηριστικά του

4.2.1. Συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης

Εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης 1 (Μονοκατοικία) Προκαθορισμένη παράμετρος από T.O.T.E.E. 20701-2/2017 και 20701-3/2010	
Ωράριο λειτουργίας	18
Ημέρες λειτουργίας	7
Μήνες λειτουργίας	12
Περίοδος θέρμανσης	1/11 έως 15/4
Περίοδος ψύξης	15/5 έως 15/9
Μέση εσωτερική θερμοκρασία θέρμανσης ($^\circ\text{C}$)	20
Μέση εσωτερική θερμοκρασία ψύξης ($^\circ\text{C}$)	26
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία χειμώνα (%)	40
Μέση εσωτερική σχετική υγρασία θέρους (%)	45
Απαιτούμενος νωπός αέρας ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$)	0.75
Στάθμη γενικού φωτισμού (lux)	200

Εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας θερμικής ζώνης 1 (Μονοκατοικία) Προκαθορισμένη παράμετρος από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 και 20701-3/2010 (συνέχεια)	
Ισχύς φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας για κτήριο αναφοράς (W/m ²)	6.4
Ετήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (m ³ /m ² έτος)	1.31
Μέση επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης (°C)	45
Μέση ετήσια θερμοκρασία νερού δικτύου ύδρευσης (°C)	19.3
Εκλύομενη θερμοκρασία από χρήστες ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	4.0
Μέσος συντελεστής παρουσίας χρηστών	0.75
Εκλύομενη θερμοκρασία από συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας της θερμικής ζώνης (W/m ²)	8.40
Μέσος συντελεστής λειτουργίας συσκευών	0.75

Πίνακας 5 Εσωτερικές συνθήκες λειτουργίας

4.2.2. Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κτηρίου

Το κτήριο διαθέτει θερμομόνωση δώματος πάχους 7cm τοποθετημένη στην άνω παρειά της όπως και το δάπεδο με θερμομόνωση 3,3cm. Οι εξωτερικές τοιχοποιίες θέρουν εξωτερική θερμομόνωση πάχους 7cm. Τα κουφώματα είναι συνθετικά με υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων και τα στοιχεία θερμομονωτικής επάρκειας του κτηρίου παρουσιάζονται στους πίνακες 6 έως 9.

Στοιχεία θερμικής ζώνης			
Θερμική Ζώνη	Εμβαδό [m ²]	Ύψος [m]	Όγκος [m ³]
ΚΑΤΟΙΚΙΑ	228.74	3.10	709.1

Πίνακας 6 Στοιχεία θερμικής ζώνης

Συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων		
Δομικό στοιχείο	$U [W/(m^2K)]$	$U_{max} [W/(m^2K)]$
ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ ΜΕ ΜΙΝΩΙΚΟ ORTHOBLOCK-20	0.350	0.55
ΔΟΚΟΣ ΘΕΡΜΟΠΡΟΣΟΨΗ	0.436	0.55
ΔΩΜΑ 20εκ	0.333	0.45
ΔΑΠΕΔΟ ΣΕ Φ.Ε.	0.755 ($U'=0.370$)	1.10

Πίνακας 7 Συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων των θερμαινόμενων και των μη θερμαινόμενων χώρων του κτηρίου

θερμοπερατότητας πλάκας σε επαφή με το έδαφος						
Δομικό στοιχείο	U [W/(m ² K)]	Εμβαδό A [m ²]	Εκτεθειμένη περίμετρος Π [m]	$B'=2A/\Pi$ [m]	Μέσο βάθος έδρασης z [m]	U' [W/(m ² K)]
Δάπεδο	0.755	228.700	75.450	6.062	0.0	0.370

Πίνακας 8 Συντελεστές θερμοπερατότητας πλάκας σε επαφή με το έδαφος

Θερμομονωτική επάρκεια κτηρίου			
	$\Sigma A \text{ [m}^2\text{]}$	$\Sigma [bxU] \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$	$\Sigma [bxUxA] \text{ [W/K]} \text{ ή } \Sigma [bx\Psi xI] \text{ [W/K]}$
κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία	171.7	0.376	64.5
οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία	457.4	-	160.8
διαφανή δομικά στοιχεία	62.1	1.588	98.6
θερμογέφυρες	-	-	92.1
Συνολικά	691.3		416.0
$[\Sigma (bxUxA) + \Sigma (bx\Psi xI)] / \Sigma A$		0.602 < 0.778	

Πίνακας 9 Συγκεντρωτικά στοιχεία θερμομονωτικής επάρκειας κτηρίου

4.2.3. Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης – ψύξης και Φ/B

4.2.3.1. Χαρακτηριστικά συστήματος θέρμανσης – ψύξης

Το σύστημα θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου που επιλέχθηκε είναι σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα – νερού με σύστημα εκπομπής στοιχείων αέρα νερού (Fan Coil Unit). Τα FCU επιλέχθηκαν ως ένα σύστημα το οποίο ανταποκρίνεται με ευέλικτο τρόπο στις συχνές μεταβολές του φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και από μέρα σε μέρα. Τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας, του συστήματος εκπομπής και διανομής παρουσιάζονται στον πίνακα 10. Για την ισχύ των βοηθητικών συστημάτων υπολογίστηκαν 30W για κάθε ένα από τα 5 FCU των υποδοματίων και των διαδρόμων και 70W για το FCU του ενιαίου χώρου καθώς και επιπλέον 10W/m². Οι τελικοί βαθμοί απόδοσης υπολογίστηκαν σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017.

Για τη μετατροπή των θερμικών/ψυκτικών φορτίων σε ηλεκτρική κατανάλωση της Α/Θ χρησιμοποιούνται οι βαθμοί απόδοσης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Η προσέγγιση αυτή ισοδυναμεί με χρήση αντιπροσωπευτικών τιμών COP/EER και δεν λαμβάνει αναλυτικά υπόψη τη μεταβολή της απόδοσης της Α/Θ ανά ώρα σε συνάρτηση με την εξωτερική θερμοκρασία, τη θερμοκρασία προσαγωγής και το μερικό φορτίο. Η

παραδοχή θεωρείται αποδεκτή για τον συγκριτικό χαρακτήρα της παρούσας τεχνοοικονομικής αξιολόγησης.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ		
Μονάδα παραγωγής θερμότητας: Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ. αέρα - νερού		
Βαθμός απόδοσης Α.Θ. αέρα-νερού 55°C η_s: 1.7		
Συνολική θερμική απόδοση μονάδας ή COP: 4.412		
Είδος καυσίμου: Ηλεκτρισμός		
Συντελεστής υπερδιαστασιολόγησης η_{g1} : 1.000		
Συντελεστής μόνωσης η_{g2} :		
Πραγματικός βαθμός απόδοσης η_{gm}: 4.412		
ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ		
Μονάδα παραγωγής ψύξης: Αερόψυκτη Α.Θ. ισχύος 16.0 kW		
Βαθμός απόδοσης EER: 3.500		
Είδος καυσίμου: Ηλεκτρισμός		
ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ		
Μόνωση κτηρίου αναφοράς		
Θερμική ισχύς που μεταφέρει το δίκτυο διανομής (kW): 16		
Χώρος διέλευσης: Εξωτερικοί χώροι πάνω από 20%		
Βαθμός θερμικής απόδοσης δικτύου διανομής: 96.3%		
ΤΕΡΜΑΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ		
Είδος τερματικών μονάδων θέρμανσης χώρων : F.C.U.		
Θερμική απόδοση τερματικών μονάδων: 0.918 T.O.T.E.E. 20701-1/2017, πίνακας 4.12		
ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
Ισχύς βοηθητικών συστημάτων(W)	Αριθμός συστημάτων	Ισχύς βοηθητικών συστημάτων(W/m ²)
240		1.05

Πίνακας 10 Σύστημα θέρμανσης– Ψύξης –Δίκτυο Διανομής – Τερματικών μονάδων – Βοηθητικών συστημάτων

4.2.3.2. Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

Το φ/β σύστημα που επιλέχθηκε λαμβάνει υπόψη του πλαίσια της αγοράς τεχνολογίας monocrystalline με ονομαστική ισχύ 570W ανά πλαίσιο με βαθμό απόδοσης $\eta_{STC} = 22,32\%$ χωρίς να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς η δυνατότητα της bifacial λειτουργίας. Τα χαρακτηριστικά του πλαισίου και του inverter αποδίδονται στον πίνακα 11.

Χαρακτηριστικά Πλαισίου & Inverter	
P _{max,STC} (Wp)	570
η_{STC} (%)	22,32
γ_{mp} %/C)	-0,30%
Μείωση Απόδοσης 1ου έτους	1.00%
Μείωση Απόδοσης επόμενων ετών	0.35%
Μήκος (m)	2,278
Πλάτος (m)	1,134
InverterEur.Eff (%)	97,7

Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων και inverter

Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του φ/β συστήματος χρησιμοποιήθηκε η σχέση $\eta_{\Sigma} = \eta_{PV} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa} \cdot \text{InverterEur.Eff}$ και $\eta_{PV} = \eta_{STC} \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\delta}$ όπου:

- η_{STC} απόδοση σε συνθήκες STC
- σ_{γ} συντελεστής γήρανσης (λόγω αλλοίωσης της δομής), η μείωση της απόδοσης εκτιμάται σε 1% το πρώτο έτος και 0,4% για κάθε επόμενο έτος λειτουργίας, δηλαδή,
- $\sigma_{\gamma} = 1 - (1\% \cdot 1 + 0.35\% \cdot 19)$,
- σ_{ρ} συντελεστής επικαθίσεων, 0.95 για επιφάνειες που καθαρίζονται συχνά,
- σ_{θ} συντελεστής αύξησης θερμοκρασίας, $\sigma_{\theta} = 1 + [(T_a + 30) - 25] \cdot \gamma_{mp}$, όπου T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος και επιλέχθηκε η μέση μηνιαία κατά τη διάρκεια της ημέρας από τον πίνακα 3.2 της TOTEE 20701-3/2010 για την περιοχή του Ηρακλείου και γ_{mp} ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος,

- $\sigma\delta$ συντελεστής διόδου αντεπιστροφής, η διόδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή (μπαταρία) διαμέσου του ΦΒ πλαισίου $\sigma\delta=0.99$,
- $\sigma\alpha$ συντελεστής ανομοιογένειας πλαισίων λόγω διαφορετικής κατασκευής, $\sigma\alpha=0.98$
- $\sigma\kappa$ συντελεστής καλωδιώσεων λόγω ηλεκτρικών απωλειών κατά τη σύνδεση, $\sigma\kappa=0.98$
- Inverter Eur. Eff, βαθμός απόδοσης του inverter κατά European weighted efficiency, 97,7%.

Έτσι για κάθε μήνα προκύπτει :

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ $T_o = 13^\circ \text{C}$	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ $T_o = 13.2^\circ \text{C}$	ΜΑΡΤΙΟΣ $T_o = 14.5^\circ \text{C}$	ΑΠΡΙΛΙΟΣ $T_o = 17.6^\circ \text{C}$	ΜΑΙΟΣ $T_o = 21.3^\circ \text{C}$	ΙΟΥΝΙΟΣ $T_o = 25.3^\circ \text{C}$
$\eta_{stc} (\%)$	22.32	22.32	22.32	22.32	22.32	22.32
$\gamma_{mp} \text{ } (\%/^\circ\text{C})$	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%
$\sigma\gamma$	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924
$\sigma\rho$	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
$\sigma\theta$	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
$\sigma\delta$	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
$\sigma\alpha$	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
$\sigma\kappa$	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
InverterEur.Eff (%)	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
η_{PV}	0.172	0.172	0.171	0.170	0.168	0.165

Πίνακας 12 Μηνιαίος βαθμός απόδοσης Φ/Β συστοιχίας Ιανουαρίου - Ιουνίου

	ΙΟΥΛΙΟΣ To =27 ° C	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ To =26.9 ° C	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ To =24.5 ° C	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ To =21.1 ° C	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ To =17.7 ° C	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ To =14.7 ° C
η _{stc} (%)	22.32	22.32	22.32	22.32	22.32	22.32
γ _{mp} %/C)	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%
σ _γ	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924
σ _ρ	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
σ _θ	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94
σ _δ	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
σ _α	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
σ _κ	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
InverterEur.Eff (%)	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70	97.70
η _{ρν}	0.164	0.164	0.166	0.168	0.170	0.171

Πίνακας 13 Μηνιαίος βαθμός απόδοσης Φ/B συστοιχίας Ιουλίου - Δεκεμβρίου

4.3. Ωριαία δεδομένα φορτίου θέρμανσης/ψύξης

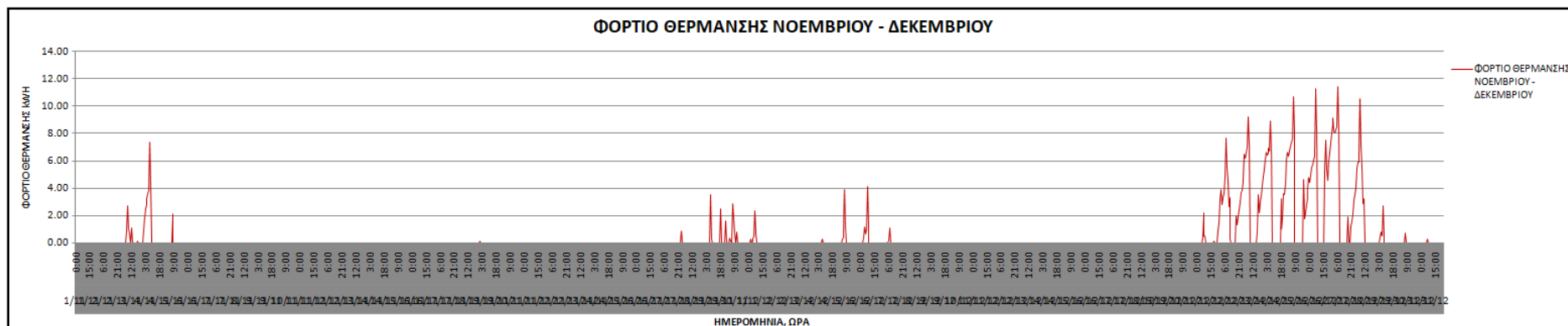
Τα ωριαία θερμικά φορτία που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία προέρχονται από προγενέστερη μελέτη ημι-δυναμικής προσομοίωσης κατοικίας, η οποία πραγματοποιήθηκε υπό τον επιβλέποντα καθηγητή. Τα δεδομένα αυτά δεν επαναξιολογήθηκαν πλήρως ως προς την απόλυτη ακρίβειά τους στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, αλλά χρησιμοποιήθηκαν ως συνεπές ωριαίο προφίλ αναφοράς, κατόπιν αναγωγής στο υπό μελέτη κτήριο. Η αναγωγή επιτρέπει την εκτίμηση της σχετικής χρονικής κατανομής της ζήτησης θέρμανσης και ψύξης, η οποία αποτελεί το κρίσιμο μέγεθος για την αξιολόγηση του ταυτοχρονισμού με την παραγωγή του Φ/B συστήματος.

Η ζήτηση ενέργειας θέρμανσης (φορτίο θέρμανσης Q_h, dem) και ψύξης (φορτίο ψύξης Q_c, dem) για το κτήριο υπολογίστηκε σε ωριαίο βήμα με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS και προέκυψε συνολική ετήσια ζήτηση ενέργειας θέρμανσης 2.665,7kWh και συνολική ετήσια ζήτηση ενέργειας ψύξης 5.639,24kWh. Για την εξυπηρέτηση της ανάλυσης με ωριαία φορτία διενεργήθηκαν δοκιμές τυπικών κτηρίων στην περιοχή του

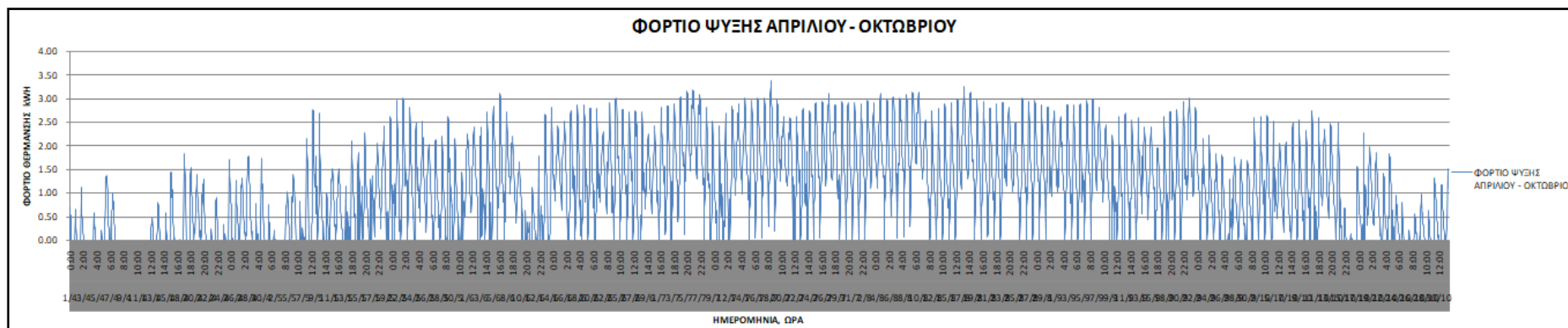
Ηρακλείου με παρεμφερείς διαστάσεις και στο μέτρο του δυνατού με παραπλήσιες προδιαγραφές. Ως εκ τούτου, τα ωριαία φορτία αντιμετωπίζονται ως προφίλ αναφοράς και όχι ως βαθμονομημένη προσομοίωση του συγκεκριμένου κτηρίου. Η πιθανή αβεβαιότητα των απόλυτων τιμών δεν αναιρεί τη χρησιμότητα των δεδομένων για τον σκοπό της εργασίας, καθώς όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συγκρίνονται με βάση το ίδιο ωριαίο φορτίο. Η συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων παραμένει συνεπής, εφόσον το ίδιο προφίλ ζήτησης εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις. Στα διαγράμματα 2,3 και 4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ωριαία φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου.



Διάγραμμα 2 Φορτίο Θέρμανσης Ιανουαρίου - Μαρτίου



Διάγραμμα 3 Φορτίο Θέρμανσης Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου



Διάγραμμα 4 Φορτίο Ψύξης Απριλίου - Οκτωβρίου

4.4. Διαστασιολόγηση – Κοστολόγηση

4.4.1. Κοστολόγηση συστημάτων Φ/Β – Συσσωρευτών

Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης Φ/Β συστήματος ελήφθη στα 1000€/kW με λειτουργικό κόστος 1% επί του κόστους εγκατάστασης και του κόστους συντήρησης 1% επί του κόστους εγκατάστασης.

Το κόστος των συσσωρευτών ελήφθη στα 600€/kWh αποθηκευόμενης ενέργειας.

Σύμφωνα με την ωραία ανάλυση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάστηκε στα διαγράμματα 2, 3 και 4 θα επιλεγούν για τον σχολιασμό και αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα η περίοδος θέρμανσης Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου και ψύξης Μαΐου – Ιουνίου καθώς είναι αντιπροσωπευτικά των περιόδων.

4.4.2. Διαστασιολόγηση Φ/Β συστοιχίας και συσσωρευτών

Σύμφωνα με το συντελεστή συμπεριφοράς και τους βαθμούς απόδοσης των συστημάτων διανομής μέσου, τερματικών μονάδων και ισχύος βοηθητικών συστημάτων προέκυψε η απαιτούμενη ωριαία ζήτηση ενέργειας θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου.

Η αποδιδόμενη ενέργεια του φ/β συστήματος προέκυψε από την ωριαία προσπίπτουσα ακτινοβολία στην περιοχή επί το εμβαδόν πλαισίων που επιλέχθηκαν και το μηνιαίο βαθμό απόδοσης του συστήματος.

Έτσι, προέκυψε η ωριαία κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου από τα φ/β και η ωριαία έλλειψη ενέργειας η οποία θα πρέπει να καλυφθεί με απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο.

Οι συσσωρευτές διαστασιολογήθηκαν ώστε να φορτίζουν έως το 95% της χωρητικότητάς τους και να εκφορτίζουν έως το 20% αυτής. Επίσης για την απόδοση της μπαταρίας στους ωριαίους υπολογισμούς SOC λήφθηκε υπόψη το Round Trip Efficiency RTE=92% για να ληφθούν υπόψη οι απώλειες φόρτισης και εκφόρτισης.

Στην περίπτωση όπου υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια αυτή θα κατευθύνεται προς τη φόρτιση των συσσωρευτών και αν προκύπτει επιπλέον παραχθείσα ενέργεια θα κατευθύνεται στο δίκτυο προς πώληση ή απευθείας προς πώληση στην περίπτωση χωρίς συσσωρευτές.

Στην περίπτωση μη ύπαρξης παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β ή έλλειψης ενέργειας αυτή θα καλύπτεται από τους συσσωρευτές και αν δεν επαρκεί από το ηλεκτρικό δίκτυο ή απευθείας από το δίκτυο στην περίπτωση χωρίς συσσωρευτές.

Η μέγιστη ζήτηση ενέργειας βρέθηκε στα 4,87kWh στις 3/2 και ώρα 07:00π.μ. Αυτό σημαίνει ότι οι συσσωρευτές θα έχουν εκφορτιστεί και το φ/β δεν θα παράγει. Λόγω μη παρουσίας χρηστών στο χώρο κατά τις ώρες τις ημέρας την περίοδο της θέρμανσης στο setpoint της ενεργειακής ανάλυσης του κτηρίου, τα φορτία που παραλήφθηκαν για την ανάλυση της παρούσας εργασίας εμφανίζουν ελάχιστη απαίτηση ενέργειας για αυτές τις ώρες, ενώ παρουσιάζονται φορτία τις νυχτερινές ώρες. Οπότε η διαστασιολόγηση για κάλυψη του φορτίου στην αιχμή από το σύστημα pv+batteries δεν θα ευνοούσε. Άρα, ο αρχικός στόχος ήταν η διαστασιολόγηση σε χρονικά σημεία ταυτοχρονισμού του φορτίου θέρμανσης και της παραγωγής του φ/β.

Ταυτόχρονα ελέγχονται πρωτίστως ο δείκτης μείωσης απορροφούμενης ενέργειας Grid Import Reduction μέσω της σχέσης

$$\text{Grid Import Reduction}\% = \frac{\text{Grid}_{\text{without}} - \text{Grid}_{\text{with}}}{\text{Grid}_{\text{without}}}$$

και των δεικτών Ιδιοκατανάλωσης (Self-Consumption Ratio - SCR) και Ενεργειακής Αυτονομίας (Self-Sufficiency Ratio - SSR) μέσω των σχέσεων

$$\text{SCR} = \frac{\text{PV energy consumed locally}}{\text{Total PV production}} \text{ και } \text{SSR} = \frac{\text{PV energy consumed locally}}{\text{Total Load}}.$$

(Skandalos & Karamanis, 2025)

Τέλος παρατηρήθηκε το αρχικό καθαρό ισοζύγιο πώλησης ενέργειας – αγοράς ενέργειας, το οποίο βασίζεται στην μείωση της απαιτούμενης απορροφούμενης ενέργειας από το δίκτυο με διατήρηση του αρχικού κόστους επένδυσης σε χαμηλά επίπεδα.

4.4.2.1. Διαστασιολόγηση Φ/Β χωρίς συσσωρευτές

Στην περίπτωση χρήσης φ/β χωρίς συσσωρευτές βρέθηκε ότι η εγκατάσταση ταυτοχρονίζει το φορτίο θέρμανσης με την παραγόμενη ενέργεια του φ/β στα 8 πλαίσια με εγκατεστημένη ισχύ συστοιχίας 4,56kWp. Σε ετήσιο απλό ισοζύγιο πώλησης – αγοράς ενέργειας η εγκατάσταση περνά σε θετικό ισοζύγιο με 10 πλαίσια και συστοιχία ισχύος 5,7kWp. Τα αποτελέσματα της επιλεγείσας συστοιχίας φαίνονται στον πίνακα 14.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ Φ/Β ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ			
Πλήθος PV =	8	No (kWp)	4.56
Πώληση Ενέργειας €	Κόστος Αγοράς Ενέργειας €	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ + ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ €	ΙΣΟΖΥΓΙΟ €
385.40	447.72	91.20 €	-153.52
SCR	SSR	GridImportReduction %	
19.83%	36.64%	36.64%	
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ		4,560.00 €	

Πίνακας 14 Διαστασιολόγηση φ/β χωρίς συσσωρευτές

Στο διάγραμμα 5 που ακολουθεί φαίνεται η σύγκριση μεταξύ της απαιτούμενης ενέργειας θέρμανσης για τους μήνες Ιανουάριο έως Φεβρουάριο σε σχέση με την ενέργεια που αποδίδει η φ/β συστοιχία και στο διάγραμμα 6 η σύγκριση μεταξύ της απαιτούμενης ενέργειας ψύξης για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο.

Παρατηρείται ότι στην περίοδο της ψύξης υπάρχει μεγαλύτερος ταυτοχρονισμός του φορτίου με την παραγόμενη από το φ/β ενέργεια αλλά και υπερβάλλουσα ενέργεια από το φ/β. Αυτό θα έφερνε έναν ταυτοχρονισμό στην περίοδο της ψύξης με εγκατάσταση 4 πλαισίων ισχύος περίπου 2,3kWp.

Τα δεδομένα αυτά θα διατηρηθούν και για την περίπτωση της εγκατάστασης φ/β με συσσωρευτές.

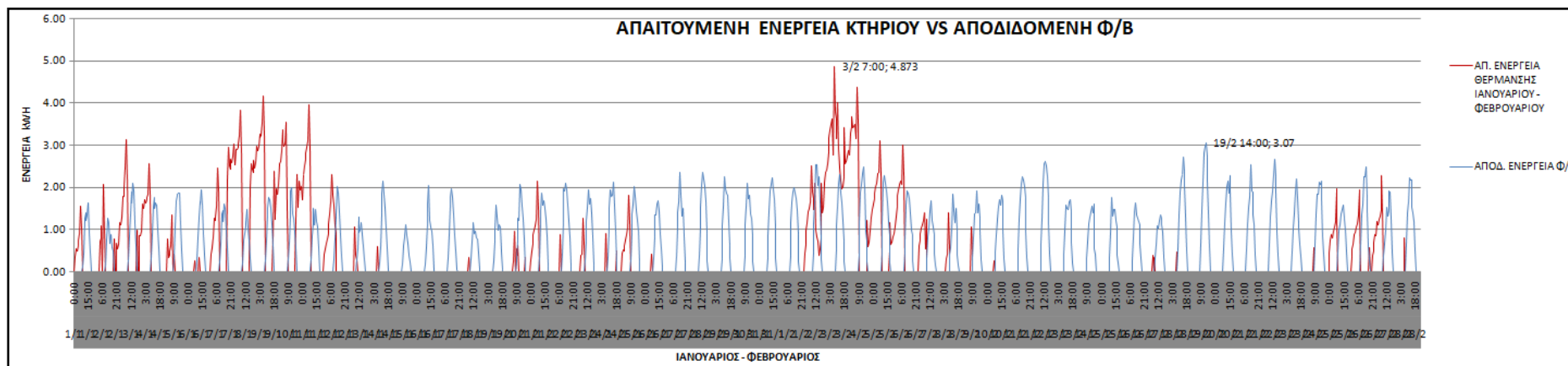
Στην περίπτωση της θέρμανσης που τα φορτία που προσκομίσθηκαν για την εργασία παρουσιάζουν ασυνέχεια, διαφαίνεται η ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας. Επίσης κατά την περίοδο της θέρμανσης τα φορτία παρουσιάζονται τις νυχτερινές ώρες με μέγιστο περίπου στις 07:00πμ που σημαίνει ότι ο ταυτοχρονισμός των φ/β και της αντλίας θερμότητας είναι δύσκολο να υπάρξει.

Στα διαγράμματα 7 και 8 παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της αυτοκατανάλωσης για το δίμηνο θέρμανσης Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου και ψύξης Μαΐου – Ιουνίου σε σύγκριση με την έλλειψη ενέργειας που υπάρχει στα ίδια διαστήματα.

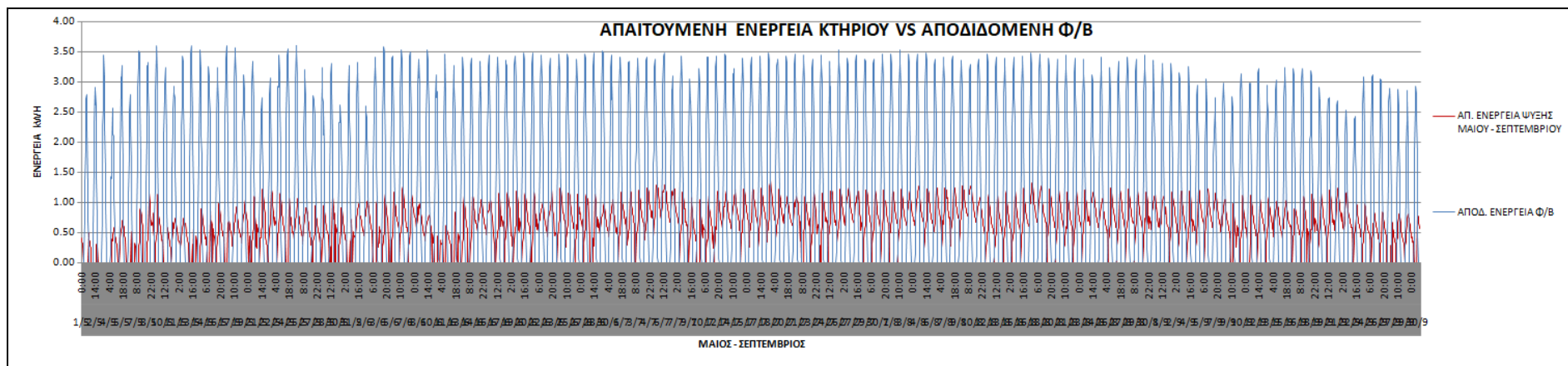
Για τη θέρμανση παρατηρείται σαφώς ότι η αυτοκατανάλωση είναι πολύ μικρή λόγω του ετεροχρονισμού μεταξύ παραγωγής και ζήτησης. Επίσης βλέπουμε σχεδόν το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας να οδηγείται στο δίκτυο. Η μειωμένη αυτοκατανάλωση κατά την περίοδο θέρμανσης δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως αδυναμία του Φ/Β συστήματος να παράγει ενέργεια τον χειμώνα, αλλά κυρίως ως αποτέλεσμα της χρονικής κατανομής της ζήτησης θέρμανσης. Το ωριαίο πρόγραμμα λειτουργίας της κατοικίας οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση κυρίως εκτός των μεσημβρινών ωρών, ενώ η μέγιστη παραγωγή των Φ/Β εμφανίζεται κατά κανόνα γύρω από το μέσο της ημέρας. Επομένως, ο χαμηλός χειμερινός ταυτοχρονισμός συνδέεται με το schedule λειτουργίας της θέρμανσης και όχι αποκλειστικά με την εποχική μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Για την ψύξη του κτηρίου παρατηρείται αυτοκατανάλωση κατά τις περιόδους ζήτησης με την παραγόμενη ενέργεια που περισσεύει να είναι περίπου 3 φορές της καταναλισκόμενης και να οδηγείται στο δίκτυο προς πώληση. Ωστόσο η έλλειψη ενέργειας παραμένει κατά τις ώρες μη αυτοκατανάλωσης και απαιτεί απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο.

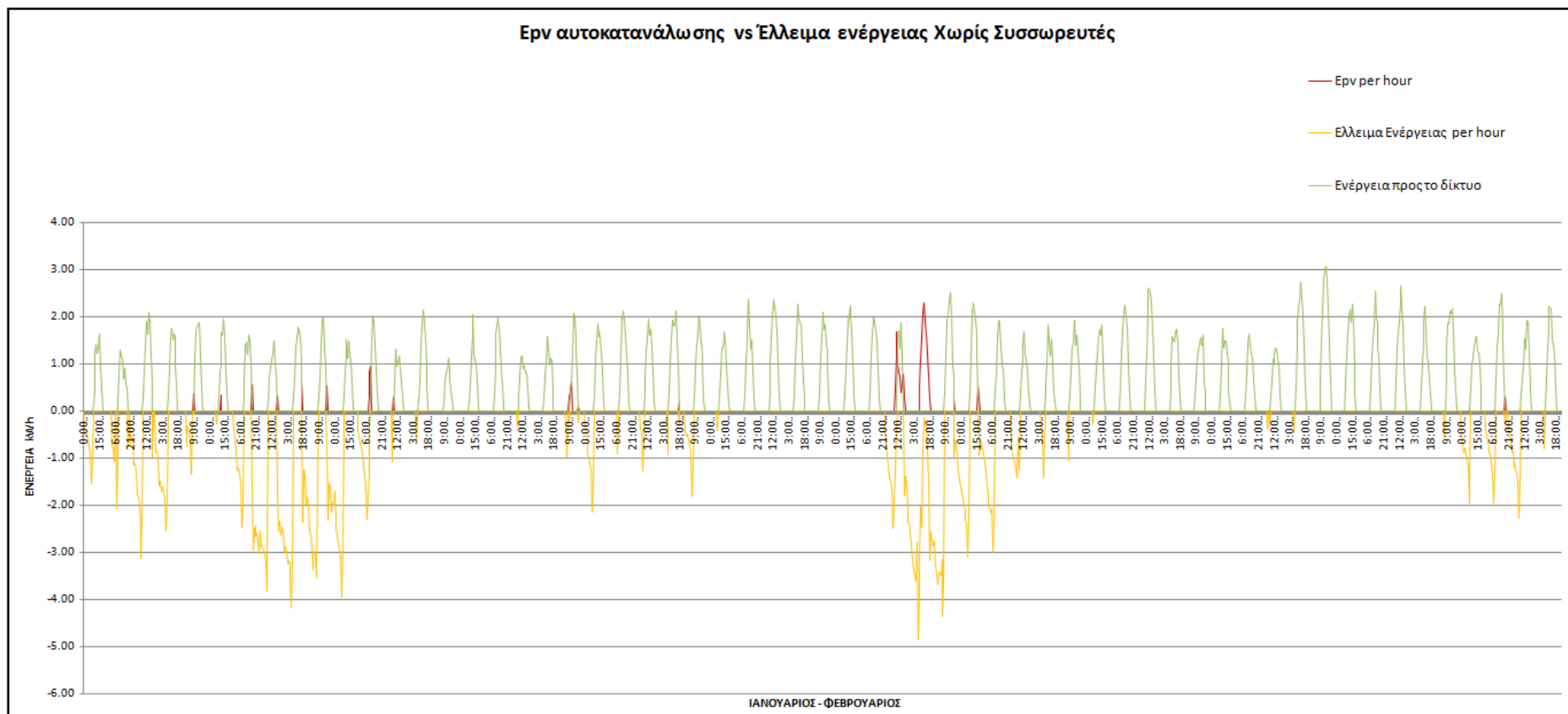
Αρχίζει, λοιπόν, να διαφαίνεται ότι η αποθήκευση ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει μέρος από τη ζήτηση που υπολείπεται κυρίως τις βραδινές ώρες μη παραγωγής.



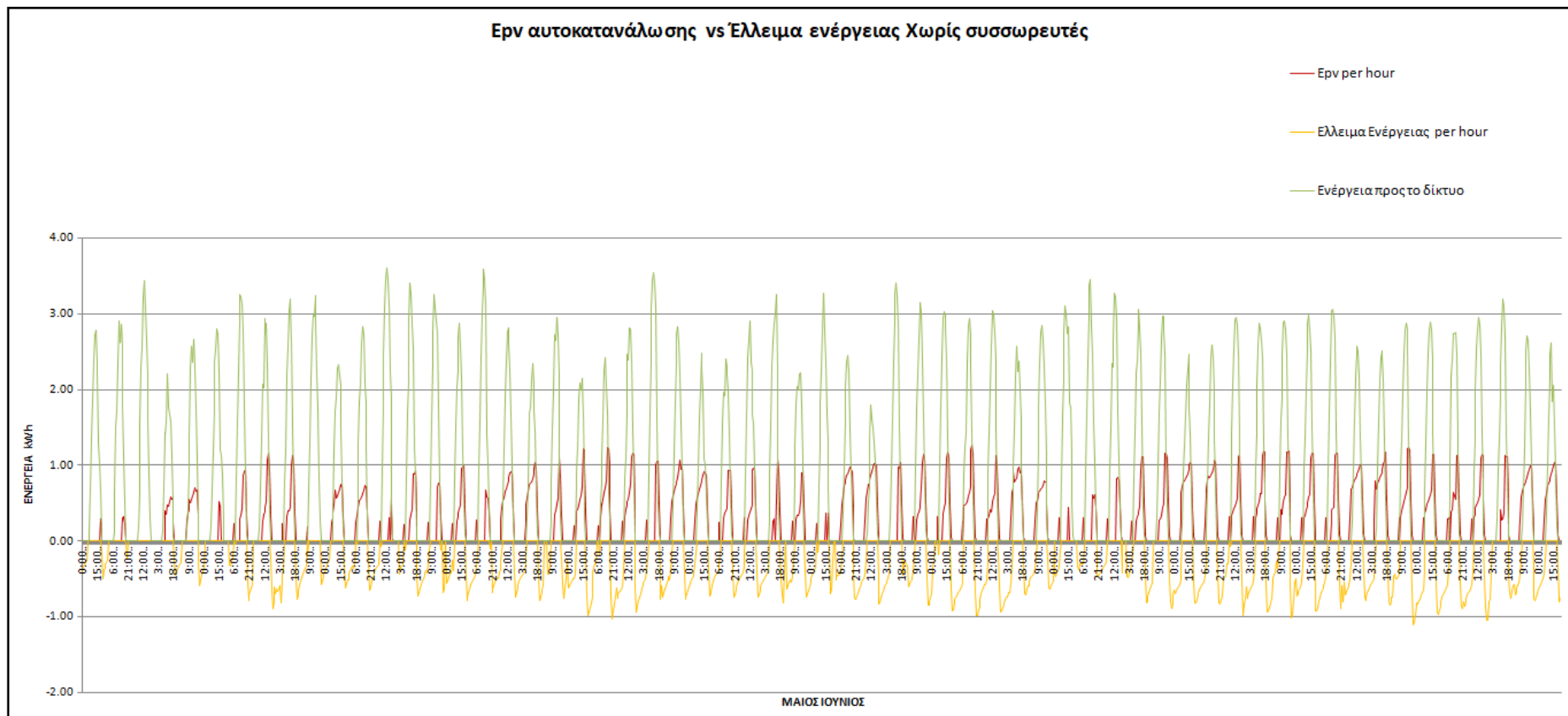
Διάγραμμα 5 Απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε σχέση με την αποδιδόμενη ενέργεια των Φ/Β για τους μήνες Ιανουάριο έως Φεβρουάριο



Διάγραμμα 6 Απαιτούμενη ενέργεια ψύξης σε σχέση με την αποδιδόμενη ενέργεια των Φ/Β για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο



Διάγραμμα 7 Σύγκριση ενέργειας για αυτοκατανάλωση και έλλειψης ενέργειας ανά ώρα Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 8 Σύγκριση ενέργειας για αυτοκατανάλωση και έλλειψης ενέργειας ανά ώρα Μαΐου - Ιουνίου

4.4.2.2. Διαστασιολόγηση Φ/Β με συσσωρευτές

Στην περίπτωση χρήσης φ/β με συσσωρευτές επιλέχθηκε να διατηρηθεί η ίδια φ/β συστοιχία και με την προσθήκη των συσσωρευτών να ελεγχθεί η τεχνική βελτίωση ως προς τους δείκτες SCR, SSR και Grid Import Reduction (GIR), αλλά και το κόστος της παρέμβασης. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 15 φαίνεται ότι ετησίως η εγκατάσταση βρίσκεται σε θετικό ισοζύγιο πώλησης – αγοράς ενέργειας με 8 πλαίσια και συστοιχία ισχύος 4,56kWp με την εγκατάσταση συσσωρευτή έστω και 3kWh. Για κάθε kWh συσσωρευτή το κόστος παρέμβασης αυξάνει κατά 600€ ενώ το ισοζύγιο πώλησης – προμήθειας ενέργειας αυξάνει ελαφρά περίπου κατά 20€ ετησίως. Οι δείκτες Ιδιοκατανάλωσης, Ενεργειακής Αυτονομίας και Μείωσης Απορροφούμενης Ενέργειας αυξάνουν συνεχώς και σχεδόν διπλασιάζονται με εγκατάσταση συσσωρευτών 10kWh, με το κόστος παρέμβασης όμως να διπλασιάζεται σχεδόν.

Για τη συνέχεια της μελέτης επιλέχθηκε η εγκατάσταση συσσωρευτών 5kWh ως μια μέση τιμή των παραπάνω δεικτών. Σημειώνεται ότι η χωρητικότητα των 5 kWh δεν επιλέγεται ως αποτέλεσμα πλήρους οικονομικής βελτιστοποίησης όλων των πιθανών μεγεθών αποθήκευσης, αλλά ως αντιπροσωπευτικό μέγεθος οικιακού συσσωρευτή για τη διερεύνηση της επίδρασης της αποθήκευσης στους δείκτες ταυτοχρονισμού. Η επιλογή αυτή επιτρέπει τη σύγκριση δύο σαφώς διακριτών περιπτώσεων: Φ/Β χωρίς αποθήκευση και Φ/Β με τυπική οικιακή αποθήκευση. Η πλήρης βελτιστοποίηση της χωρητικότητας συσσωρευτών ως προς ΚΠΑ, IRR και ΕΠΑ αποτελεί αντικείμενο περαιτέρω διερεύνησης.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ							
Battery max (kWh)	ΙΣΟΖΥΓΙΟ	SCR	SSR	Grid Import Reduction	Eq.Full.Cycles / year	ΕΤΗ ΖΩΗΣ (6000cycles)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ
1.00	-39.68 €	23.22%	42.91%	42.15%	273.12	21.97	5,160.00 €
2.00	-18.91 €	26.41%	48.81%	47.26%	263.14	22.80	5,760.00 €
3.00	0.20 €	29.48%	54.47%	52.05%	254.54	23.57	6,360.00 €
4.00	18.56 €	32.29%	59.68%	56.57%	246.83	24.31	6,960.00 €
5.00	35.20 €	35.04%	64.76%	60.80%	239.41	25.06	7,560.00 €
6.00	51.45 €	37.58%	69.46%	64.82%	232.71	25.78	8,160.00 €
7.00	66.87 €	39.99%	73.90%	68.64%	226.48	26.49	8,760.00 €
8.00	80.77 €	42.34%	78.25%	72.21%	220.27	27.24	9,360.00 €
9.00	94.23 €	44.45%	82.14%	75.54%	214.17	28.02	9,960.00 €
10.00	106.31 €	46.38%	85.72%	78.57%	207.75	28.88	10,560.00 €

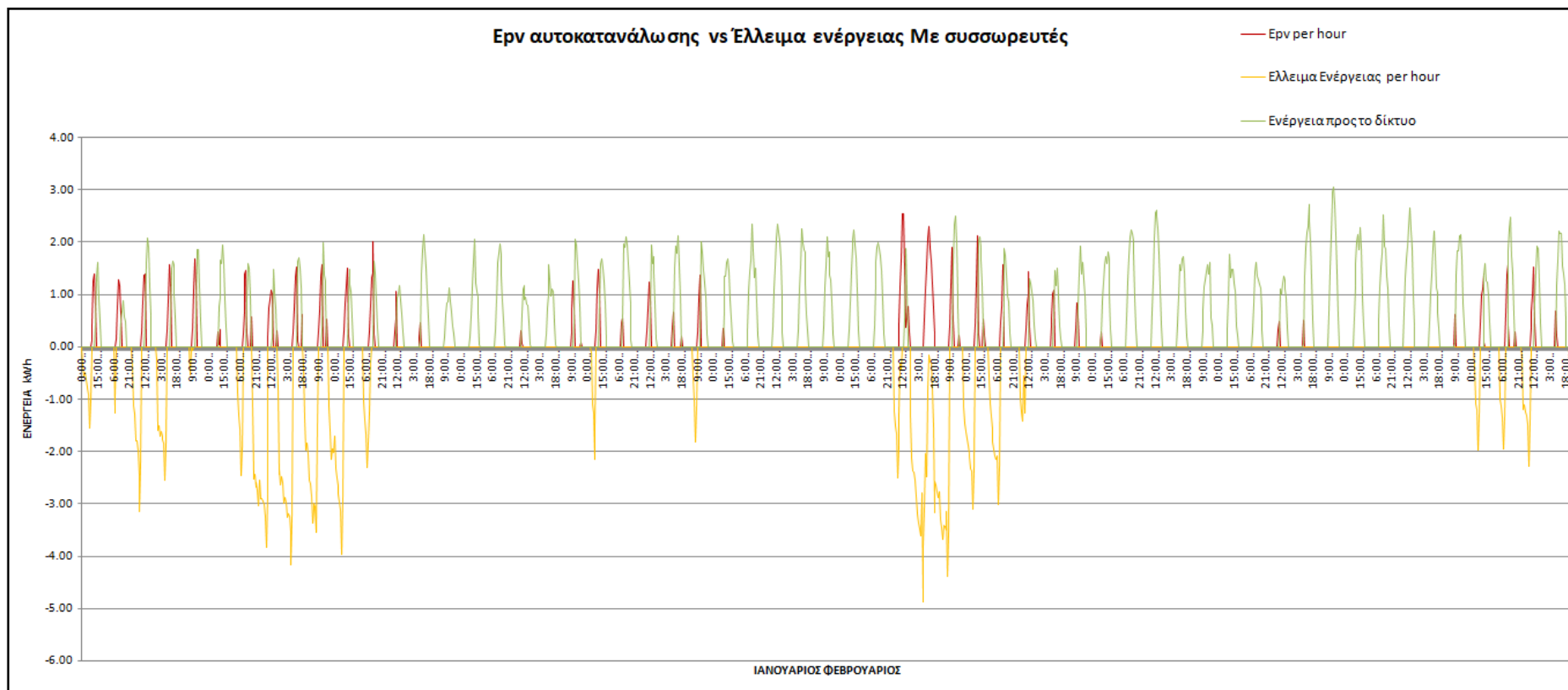
Πίνακας 15 Διαστασιολόγηση συσσωρευτών

Στον υπολογισμό της αυτοκατανάλωσης έχει συμπεριληφθεί η ενέργεια που απορροφάται εκείνη τη στιγμή από το φ/β για τη λειτουργία της Α/Θ και η ενέργεια που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές.

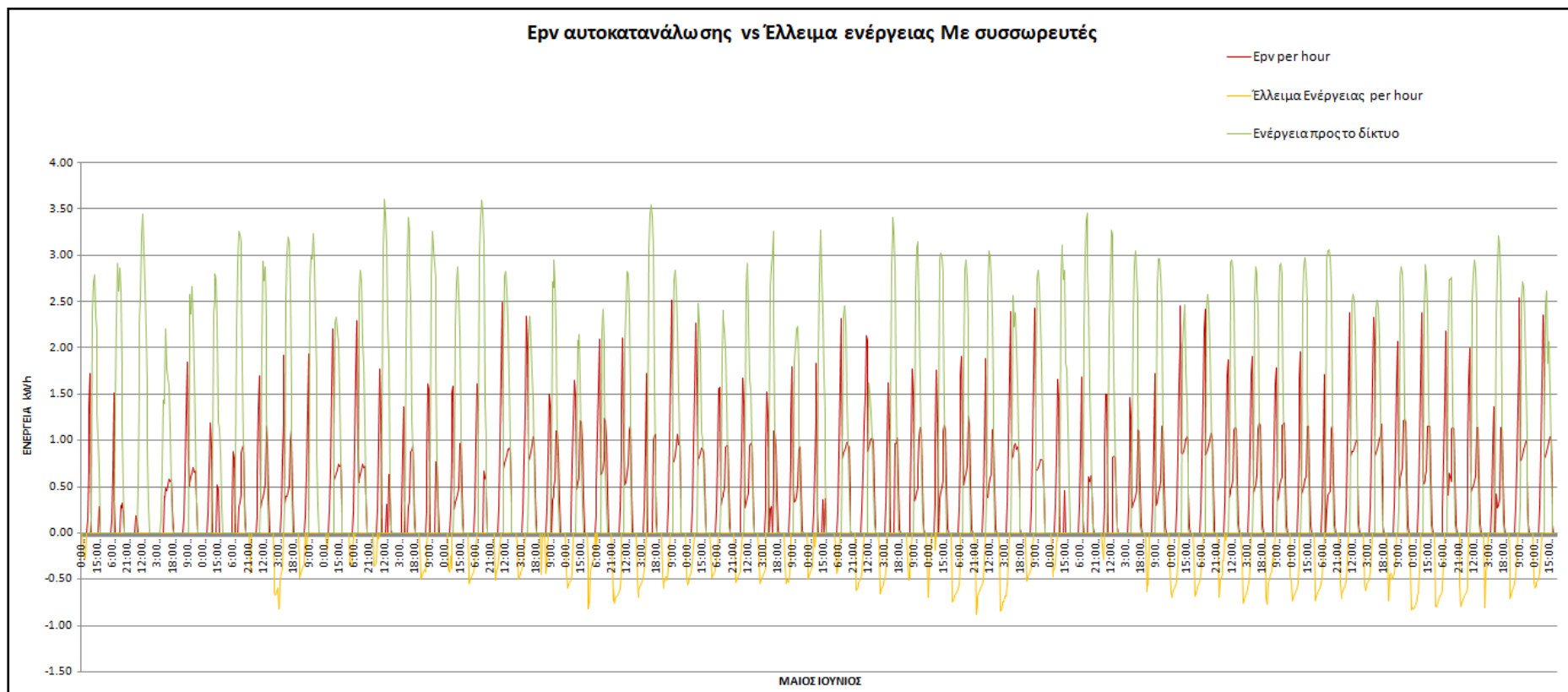
Για το διάστημα θέρμανσης Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου με την εγκατάσταση των συσσωρευτών παρατηρείται ελαφρά μείωση της εγχυόμενης ενέργειας προς το δίκτυο από 672 σε 569 kWh ενώ το έλλειμμα ενέργειας μειώνεται μόνο από 468 σε 401 kWh, μείωση περίπου 15%, σε σχέση με την απαιτούμενη ενέργεια διμήνου που φτάνει τις 515 kWh αλλά με αύξηση της αυτοκατανάλωσης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 9, σε σύγκριση με την ίδια περίοδο χωρίς συσσωρευτές. Ωστόσο, παραμένει η ζήτηση κατά τις νυχτερινές ώρες.

Κατά την περίοδο ψύξης Μαΐου – Ιουνίου η εγχυόμενη ενέργεια στο δίκτυο περιορίζεται από 1179 σε 953 kWh και το έλλειμμα μειώνεται από 374 σε 177 kWh, μείωση εγχυόμενης ενέργειας περίπου 20% και ελλείμματος 50%, σε σχέση με την απαιτούμενη ενέργεια διμήνου που φτάνει τις 745 kWh. Έτσι η αυτοκατανάλωση είναι πολύ μεγαλύτερη ενώ η εισροή ενέργειας και η περίσσεια προς πώληση έχουν μειωθεί αρκετά. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι, από τα δεδομένα που δόθηκαν, τα φορτία έχουν συνέχεια, κάτι που επιτρέπει στις μπαταρίες να εκφορτίζονται και να επαναφορτίζονται απορροφώντας και μειώνοντας την ενέργεια που εγχύεται προς το δίκτυο.

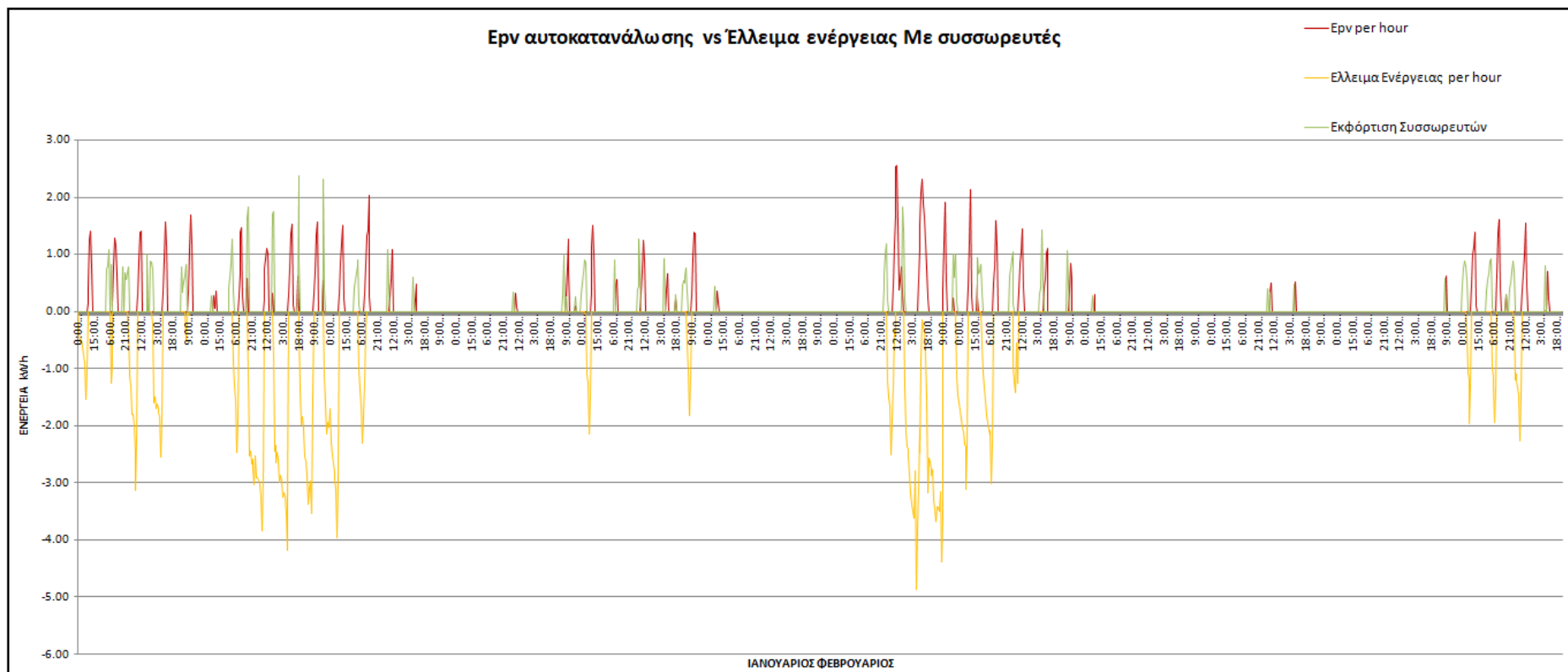
Στα διαγράμματα 11 και 12 φαίνεται η συμβολή των συσσωρευτών όπου οι καμπύλες της εκφόρτισης έρχονται αμέσως μετά τις καμπύλες αυτοκατανάλωσης αυξάνοντας το χρόνο αυτοκατανάλωσης.



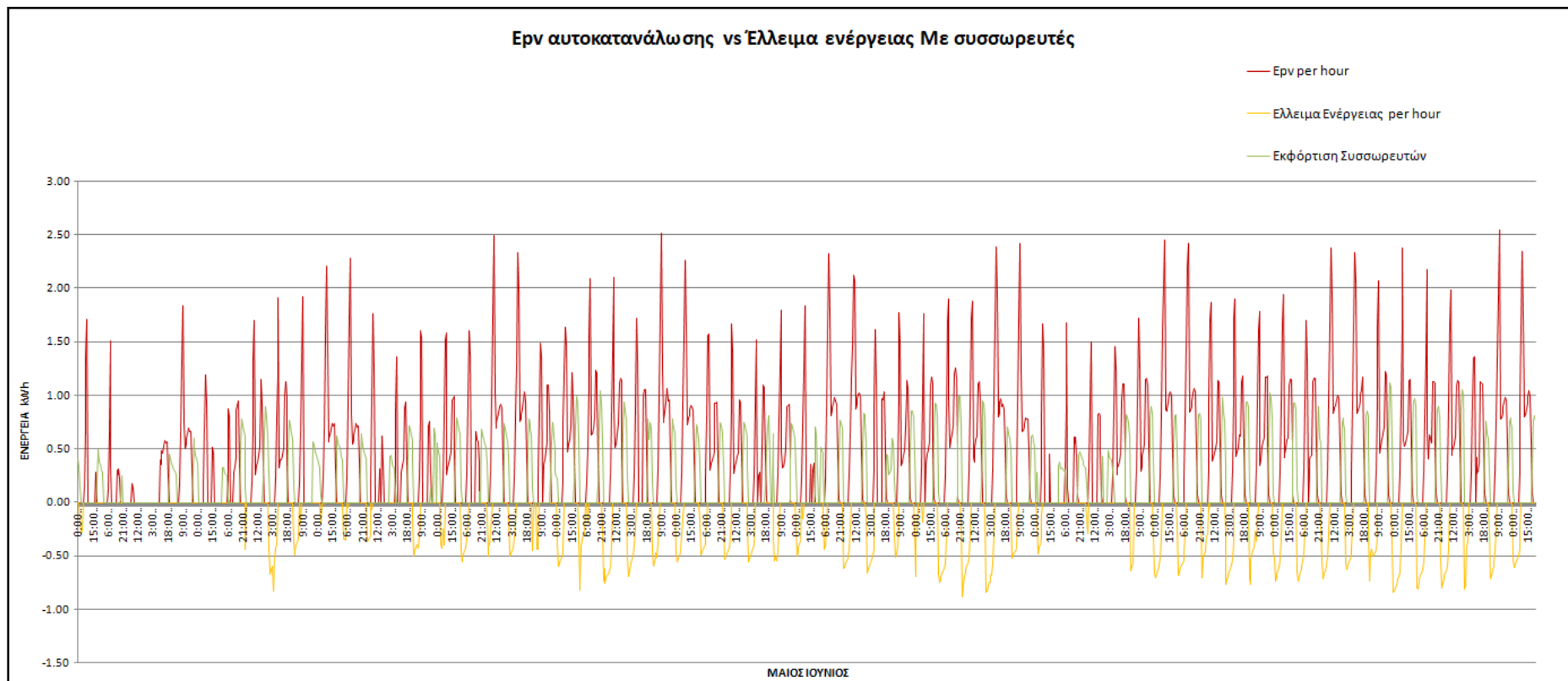
Διάγραμμα 9 Ωριαία ενέργεια αυτοκατανάλωσης για θέρμανση σε σχέση με την εγχυόμενη προς το δίκτυο και την υπολειπόμενη σε kWh Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 10Ωριαία ενέργεια αυτοκατανάλωσης για ψύξη σε σχέση με την εγχρόμενη προς το δίκτυο και την υπολειπόμενη σε kWh Μαΐου - Ιουνίου



Διάγραμμα 11 Συνεισφορά της εκφόρτισης των συσσωρευτών την περίοδο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου



Διάγραμμα 12 Συνεισφορά της εκφόρτισης των συσσωρευτών την περίοδο Μαΐου - Ιουνίου

5. Τεχνοοικονομική ανάλυση περιπτώσεων

5.1.1. Κοστολόγηση Ενέργειας και συστημάτων Φ/Β – Συσσωρευτών

Το συνολικό κόστος προμήθειας της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε από μέσο όρο χρεώσεων στα 0,1902€/kWh και το κόστος χονδρικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ελήφθη στα 0,07€/kWh. Η τεχνοοικονομική ανάλυση έγινε για διάστημα αξιολόγησης τα 20 έτη. Τα υπόλοιπα δεδομένα για την τεχνοοικονομική ανάλυση παρουσιάζονται στον πίνακα 16. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή των φ/β πλαισίων η εγγυημένη διάρκεια ζωής ως προς το βαθμό απόδοσης είναι 30 έτη. Για το λόγο αυτό έγινε γραμμική απομείωση της αξίας του εξοπλισμού από το 21^ο έτος και μετά. Η παρούσα αξία της φ/β συστοιχίας προέκυψε 271€ και λήφθηκε υπόψη στην παρούσα αξία του εξοπλισμού. Για τους συσσωρευτές έγινε η παραδοχή ίσης διάρκειας ζωής με τα έτη αξιολόγησης. Σημειώνεται ότι, ο μηχανισμός του net-billing προσεγγίζεται μέσω σταθερής τιμής αγοράς και σταθερής τιμής αποζημίωσης της εγγεόμενης ενέργειας. Συγκεκριμένα, η τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνεται ίση με 0,1902 €/kWh, ενώ η τιμή πώλησης/αποζημίωσης της πλεονάζουσας ενέργειας λαμβάνεται ίση με 0,07 €/kWh. Η παραδοχή αυτή δεν αναπαριστά τη δυναμική μεταβολή των τιμών αγοράς σε ωριαία ή ημερήσια βάση, αλλά επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων με κοινό και διαφανές οικονομικό πλαίσιο.

Δεδομένα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης	
Επιτόκιο Προεξόφλησης (ρ)	9.00%
Ετήσια Μεταβολή Τιμών Ενέργειας (δ)	2.00%
Κόστος Ηλεκτρισμού [€/kWh]	0.1902
Κόστος Πώλησης Ενέργειας [€/kWh]	0.07
Έτη αξιολόγησης (Τ)	20
Διάρκεια Ζωής Φ/Β (έτη)	30
Υπολειμματική Αξία Φ/Β	271€
Α' Περίπτωση (χωρίς συσσωρευτές)	
Κόστος Εγκατάστασης Φ/Β συστοιχίας	4560€
Κόστος Λειτουργίας Φ/Β συστοιχίας	45.6€
Κόστος Συντήρησης Φ/Β συστοιχίας	45.6€
Β' Περίπτωση (με συσσωρευτές)	
Κόστος Εγκατάστασης Φ/Β συστοιχίας & Συσσωρευτών	7560€
Κόστος Λειτουργίας Φ/Β συστοιχίας & Συσσωρευτών	45.6€
Κόστος Συντήρησης Φ/Β συστοιχίας & Συσσωρευτών	45.6€

Πίνακας 16 Δεδομένα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης

5.1.2. Τεχνοοικονομικοί συντελεστές

Για την εκπόνηση της τεχνοοικονομικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές καθαρή παρούσα αξία (Κ.Π.Α.), έντοκος περίοδος αποπληρωμής (Ε.Π.Α.), περίοδος επανείσπραξης, λόγος οφέλους προς κόστος, και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) της επένδυσης.

Σύμφωνα με την TOTEE 20701-8/2021, η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) αξιολογεί την απόδοση μιας επένδυσης σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο με τη σχέση (κατόπιν επεξεργασίας) :

$$ΚΠΑ = \sum_{i=0}^T \left[\frac{ΚΧΠ_i}{(1+p)^i} \right]$$

όπου είναι το επιτόκιο προεξόφλησης, T τα έτη αξιολόγησης και $ΚΧΠ_i$ οι καθαρές χρηματοροές.

Η έντοκος περίοδος αποπληρωμής (ΕΠΑ) αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα (σε έτη) που απαιτείται για να γίνει το σωρευτικό κόστος κύκλου ζωής ίσο με μηδέν και δίνεται από τον τύπο (Pallis, Gkonis, Varvagiannis, Braimakis, Karellas, Katsaros & Vourliotis, 2019)

$$ΕΠΑ = \frac{\ln \left[SPB(p+1) \left(\frac{r}{p+1} - 1 \right) + 1 \right]}{\ln \left(\frac{r}{p+1} \right)}$$

Όπου SPB ορίζεται ως ο λόγος του αρχικού κόστους επένδυσης διαιρούμενος με το ετήσιο προβλεπόμενο κόστος και $r = \frac{\delta+1}{100}$, όπου δ είναι η ετήσια μεταβολή τιμών ενέργειας.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR) είναι το επιτόκιο προεξόφλησης για το οποίο η Καθαρή Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.) της επένδυσης ισούται με μηδέν. Ο δείκτης αυτός εκφράζει την πραγματική ετήσια απόδοση της επένδυσης και χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας φωτοβολταϊκών συστημάτων (Talavera et al., 2010).

Για την ανάγκη αναγωγής χρημάτων σε παρούσα αξία χρησιμοποιήθηκε ο Συντελεστής προεξόφλησης Df_i σύμφωνα με τον τύπο

$$Df_i = \frac{1}{(1+p)^i}$$

Και ο συντελεστής χρεωλυσίου $SFFf(i)$ του έτους i και για πραγματικό επιτόκιο προεξόφλησης p . Ο συγκεκριμένος συντελεστής επιτρέπει τη μετατροπή μιας μελλοντικής αξίας χρήματος κατά το έτος i σε ισοδύναμη σταθερή ετήσια και ληξιπρόθεσμη αξία χρήματος από το έτος αναφοράς έως και το έτος i από τη σχέση

$$SFFf_i = \frac{p}{(1 + p)^i - 1}$$

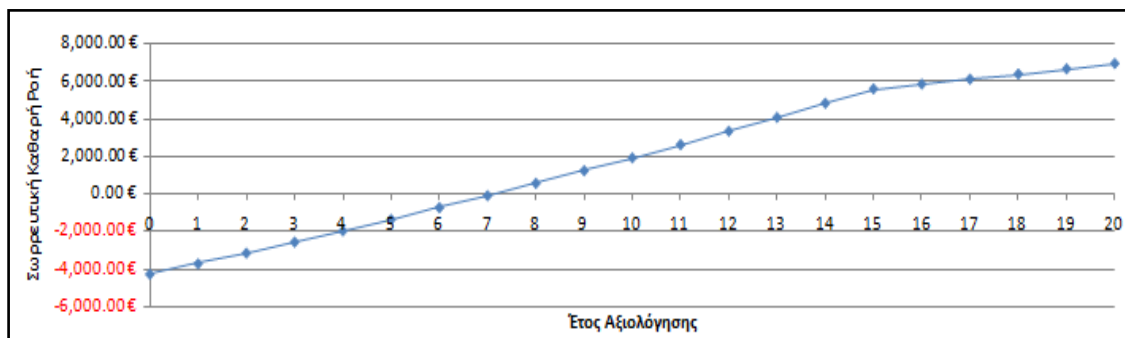
5.1.3. Αποτελέσματα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης

5.1.3.1. Τεχνοοικονομική Ανάλυση Φ/Β Συστήματος Χωρίς Συσσωρευτές

Η επένδυση χωρίς συσσωρευτές παρουσιάζει θετική εκροή των σωρευτικών καθαρών ταμειακών ροών λίγο μετά το 7^ο έτος λειτουργίας της επένδυσης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 13. Συγκριτικά με επενδύσεις φ/β συστημάτων με πώληση της παραγόμενης ενέργειας ή συστημάτων σε καθεστώς net-metering το αποτέλεσμα κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό.

Ωστόσο στον πίνακα 17, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επένδυσης, βλέπουμε την περίοδο επανείσπραξης να βρίσκεται κοντά στα 10 έτη ενώ η έντοκος περίοδος αποπληρωμής στα 17,5 έτη. Αυτό σημαίνει ότι η απόσβεση της επένδυσης γίνεται μετά τη δεκαετία, γεγονός αναμενόμενο για επένδυση σε ταυτοχρονισμό και με χαμηλή τιμή πώλησης της ενέργειας.

Ελέγχοντας τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης ο οποίος κινείται στο ποσοστό 12,62% και είναι μεγαλύτερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο 9% το οποίο τέθηκε, αλλά και από την Κ.Π.Α. η οποία προκύπτει θετική συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση φ/β σε ταυτοχρονισμό με το φορτίο κρίνεται βιώσιμη.



Διάγραμμα 13 Καθαρές ταμειακές ροές επένδυσης χωρίς συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης

Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	12.62%
Παρούσα Αξία Κόστους	4,370.15 €
Παρούσα Αξία Ωφέλους	5,028.02 €
Λόγος Ωφέλους/Κόστους	1.15
Περίοδος Επανεξίσπραξης	9.78
Έντοκος Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ)	17.39
Κ.Π.Α.	664.59 €

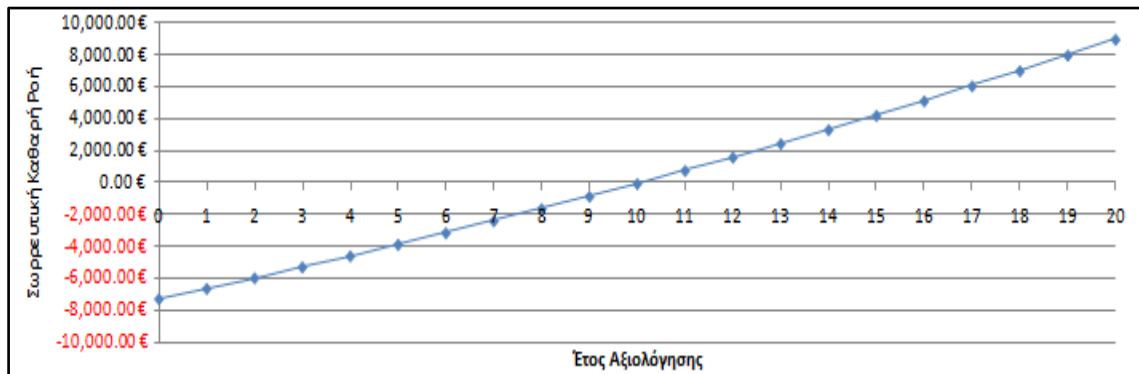
Πίνακας 17 Αποτελέσματα τεχνοοικονομικών δεικτών επένδυσης χωρίς συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης

5.1.3.2. Τεχνοοικονομική Ανάλυση Φ/Β Συστήματος με Συσσωρευτές

Στην περίπτωση της εγκατάστασης φ/β συστήματος με συσσωρευτές, τα αποτελέσματα κινήθηκαν προς το δυσμενές. Αρχικά, το έτος θετικής εκροής των σωρευτικών καθαρών χρηματοροών μετατέθηκε λίγο μετά τα 10 έτη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 14. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα και πάλι δεν δείχνει απαγορευτικό.

Ωστόσο τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής ανάλυσης που παρουσιάζονται στον πίνακα 18 δείχνουν την περίοδο επανείσπραξης κοντά στα 12 έτη, όμως η έντοκος περίοδος αποπληρωμής έχει φτάσει τα 25,5 έτη. Επίσης ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης κινείται κάτω από την τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου όπως και το Κ.Π.Α. προκύπτει

αρνητικό. Από τα τελευταία διαφαίνεται ότι το κόστος εγκατάστασης των συσσωρευτών, αλλά και το ποσοστό συμμετοχής τους στον ταυτοχρονισμό, έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη βιωσιμότητα της επένδυσης.



Διάγραμμα 14 Καθαρές ταμειακές ροές επένδυσης με συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης

Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8.44%
Παρούσα Αξία Κόστους	7,423.68 €
Παρούσα Αξία Ωφέλους	6,524.20 €
Λόγος Ωφέλους/Κόστους	0.88
Περίοδος Επανείσπραξης	11.66
Έντοκος Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ)	25.50
Κ.Π.Α.	-888.34 €

Πίνακας 18 Αποτελέσματα τεχνοοικονομικών δεικτών επένδυσης με συσσωρευτές στα έτη αξιολόγησης

6. Σύγκριση αποτελεσμάτων

6.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων ταυτοχρονισμού

Από τη σύγκριση των δύο περιπτώσεων φαίνεται ότι σε ετήσια βάση η εγκατάσταση μόνο της φ/β συστοιχίας παρουσιάζει ποσοστό εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας και αυτοκατανάλωσης 43,4% μικρότερο από την περίπτωση της εγκατάστασης και συσσωρευτών. Ομοίως και η μείωση της απορροφούμενης ενέργειας από το δίκτυο είναι μικρότερη κατά 40%.

Τα παραπάνω φαίνονται στον πίνακα 1 συγκεντρωτικά στο έτος, από τη σύγκριση των πινάκων 14 και 15, μέσω των δεικτών SCR, SSR και μείωσης εισροής ενέργειας.

ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ			
	SCR	SSR	GIR
Χωρίς Συσσωρευτές	19.83%	36.64%	36.64%
Με Συσσωρευτές	35.04%	64.76%	60.80%

Πίνακας 19 Ετήσια αποτελέσματα δεικτών SCR, SSR και Grid Import Reduction

Μεγάλη διαφοροποίηση του ταυτοχρονισμού παρουσιάζεται μεταξύ περιόδου απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και της περιόδου για ψύξη. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους τα φορτία που παραδόθηκαν για την παρούσα μελέτη είχαν λάβει υπόψη τους την παρουσία ή μη των χρηστών στο χώρο. Από αυτή τη σκοπιά, οι ώρες παραγωγής ενέργειας από το φ/β τους χειμερινούς μήνες είναι και οι ώρες όπου οι χρήστες απουσιάζουν από το χώρο κατοικίας, λόγω εργασίας ή σχολικών δραστηριοτήτων. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει απαίτηση ενέργειας ως φορτίο καθώς ο θερμοστάτης χωρίς παρουσία χρηστών τίθεται «off». Η παράμετρος αυτή αναδείχθηκε ως πολύ σημαντική για τις περιπτώσεις χρήσης αυτοματισμών παρουσίας χρηστών στις

εγκαταστάσεις σε σχέση με το νέο καθεστώς συμψηφισμού. Ωστόσο την περίοδο της ψύξης λόγω παρουσίας χρηστών και λόγω ημερήσιων θερμικών κερδών από την ακτινοβολία η απαιτούμενη ενέργεια ως φορτίο ψύξης παρουσιάζει συνέχεια και οι δείκτες ταυτοχρονισμού βελτιώνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Ποιοτικά και ποσοτικά παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μήνες Ιανουάριος και Ιούνιος μέσω του πίνακα 20 και των διαγραμμάτων 15 έως 18.

Αρχικά, συγκρίνοντας τους δύο μήνες μεταξύ τους, ελέγχοντας τους δείκτες SCR, SSR και GIR, βλέπουμε ότι η εκμετάλλευση της ενέργειας του φ/β (SCR) με συσσωρευτές αυξάνει κατά 102,7% η αυτοκατανάλωση (SSR) κατά 212,2% και η μείωση της απορροφούμενης ενέργειας από το δίκτυο (GIR) κατά 261,7% . Μάλιστα, η απαίτηση απορροφούμενης ηλεκτρικής ενέργειας τον Ιούνιο είναι μόνο 25,63% αυτής που θα χρειαζόταν χωρίς την εγκατάσταση του φ/β και των συσσωρευτών ενώ τον Ιανουάριο απαιτεί το 79,44%. Το τελευταίο συμβαίνει λόγω του πλήρους ετεροχρονισμού φορτίου (παρουσία χρηστών) και παραγωγής ενέργειας από το φ/β την περίοδο της θέρμανσης.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΣΜΟ			
Μήνας	SCR	SSR	GIR
Ιανουάριος	20.96%	24.83%	20.56%
Ιούνιος	42.49%	77.53%	74.37%
Μεταβολή Δείκτη	102.70%	212.17%	261.70%

Πίνακας 20 Σύγκριση Δεικτών από Ταυτοχρονισμό μηνών Ιανουαρίου και Ιουνίου

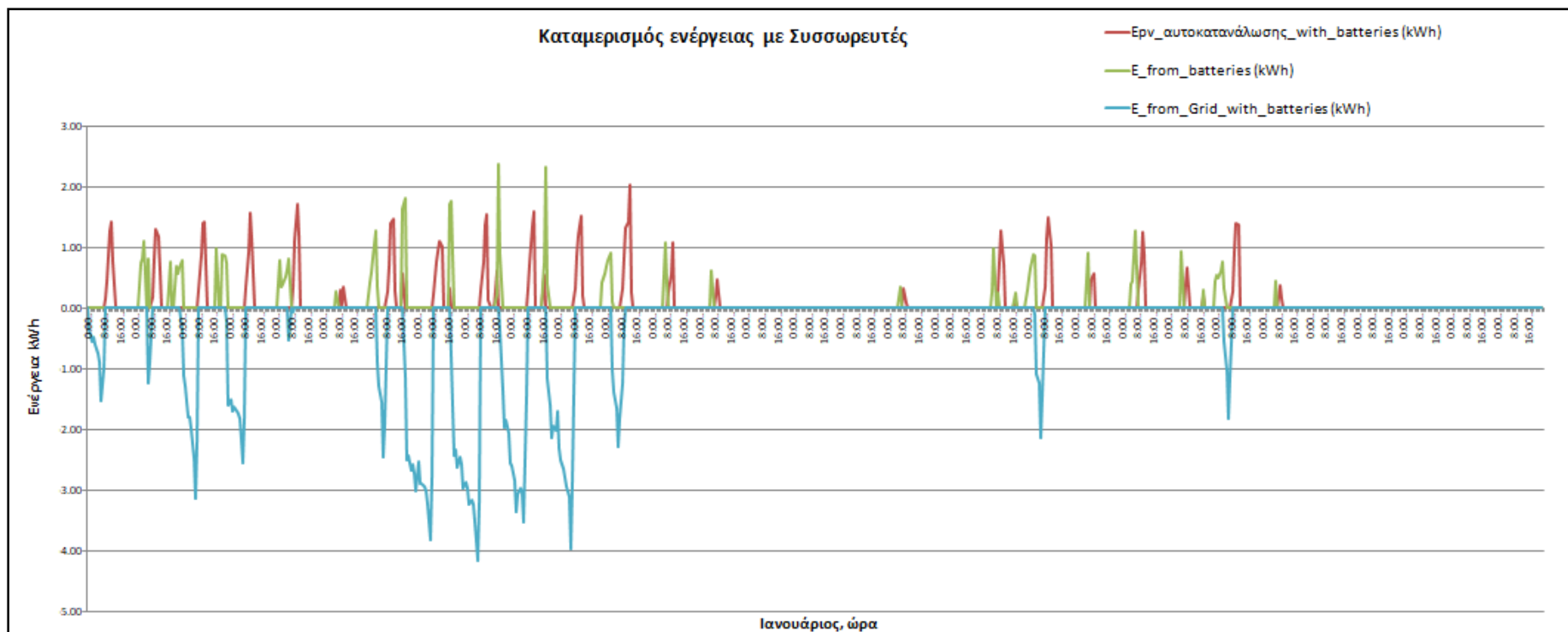
Στο διάγραμμα 15 παρατηρείται η μεγάλη απαίτηση ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο (E_from_Grid) τις απογευματινές έως τις πρώτες πρωινές. Η ενέργεια αυτοκατανάλωσης (Epn_αυτοκατανάλωσης_with_batteries) είναι περιορισμένη και αφορά κυρίως ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στους συσσωρευτές. Επίσης, η πράσινη γραφική παράσταση ακολουθεί μετά την κόκκινη της αυτοκατανάλωσης (φόρτιση) και γίνεται εμφανής η

συμμετοχή των συσσωρευτών μετριάζοντας τη ζήτηση ενέργειας μέσω της εκφόρτισής τους επιμηκύνοντας το διάστημα της αυτοκατανάλωσης.

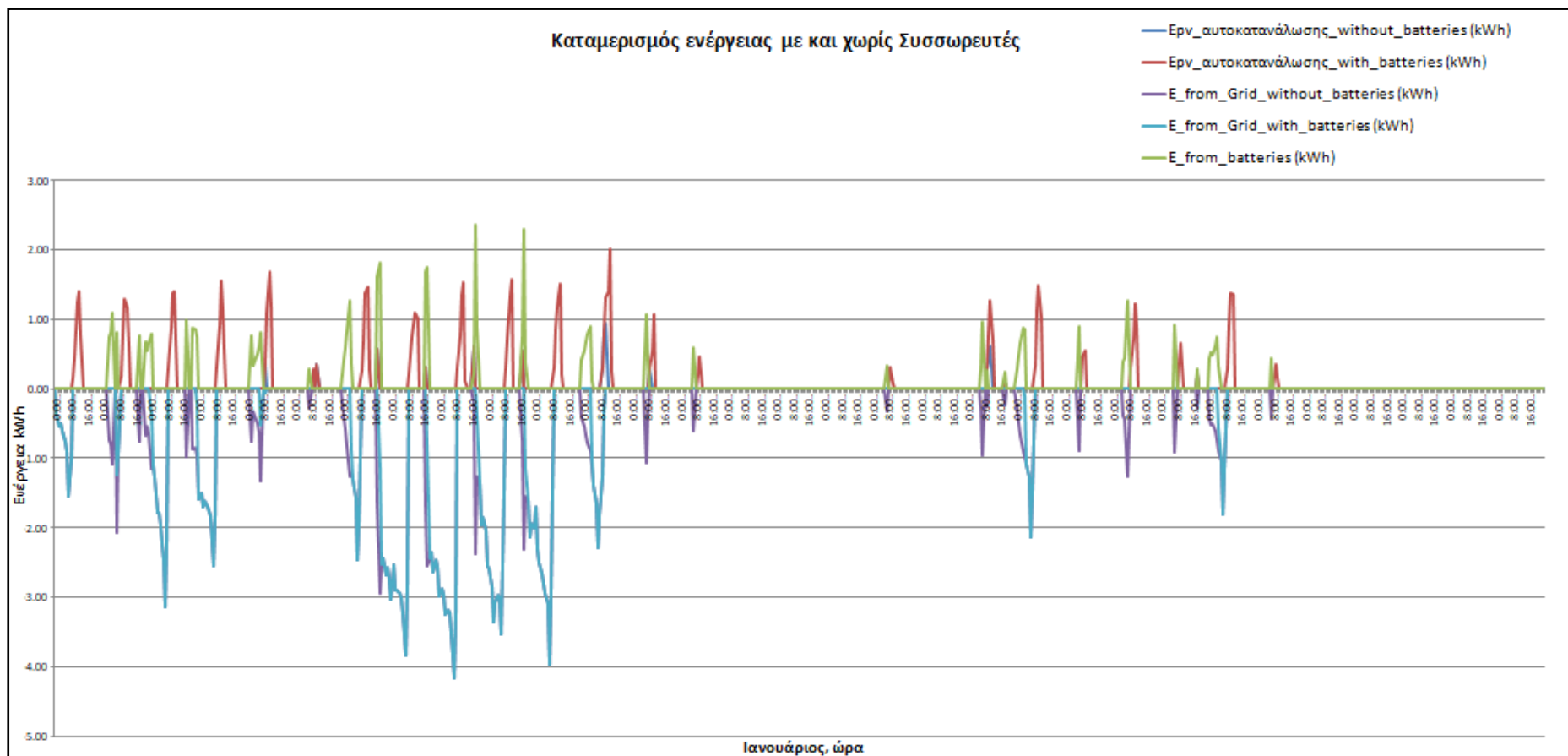
Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται η διαφορά των δύο σεναρίων (με και χωρίς συσσωρευτές) για το μήνα Ιανουάριο. Το πρώτο που παρατηρείται είναι η μωβ γραφική παράσταση της ενέργειας από το δίκτυο χωρίς συσσωρευτές η οποία πλεονάζει της γαλάζιας (με συσσωρευτές) στην αρχή του διαστήματος απαίτησης ενέργειας από το δίκτυο κάθε φορά, που υποδεικνύει την ενέργεια που θα αποθηκευτεί στην περίπτωση των συσσωρευτών. Μετά βέβαια την εκφόρτισή τους οι δύο καμπύλες ζήτησης ενέργειας από το δίκτυο ταυτίζονται.

Στα διαγράμματα 17 και 18 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα δεδομένα για το μήνα Ιούνιο με απαίτηση ενέργειας για κάλυψη φορτίων ψύξης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποτυπώνουν τη μεγάλη συμβολή του συστήματος φ/β με συσσωρευτές, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 17, στη μειωμένη ζήτηση για απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο (γαλάζια γραφική παράσταση) σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί το φορτίο (γκρι γραφική παράσταση) και την αύξηση των διαστημάτων αυτοκατανάλωσης με την εκφόρτιση των συσσωρευτών. Στο διάγραμμα 18 αποτυπώνεται η μικρότερη συμβολή της ενέργειας αυτοκατανάλωσης χωρίς συσσωρευτές σε σχέση με την ενέργεια αυτοκατανάλωσης με συσσωρευτές. Βέβαια, παρατηρείται ότι η αυξημένη ενέργεια αυτοκατανάλωσης με συσσωρευτές υπάρχει, αλλά, σε διαστήματα με αιχμές οι οποίες όμως διαρκούν χρονικά όσο υπάρχει ηλιοφάνεια. Άρα υπάρχει μεγάλη απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας για αυτοκατανάλωση η οποία οδηγείται στους συσσωρευτές. Έτσι παρουσιάζεται μικρότερη απαίτηση απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο και μεγαλύτερα διαστήματα μηδενικής απαίτησης για απορρόφηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

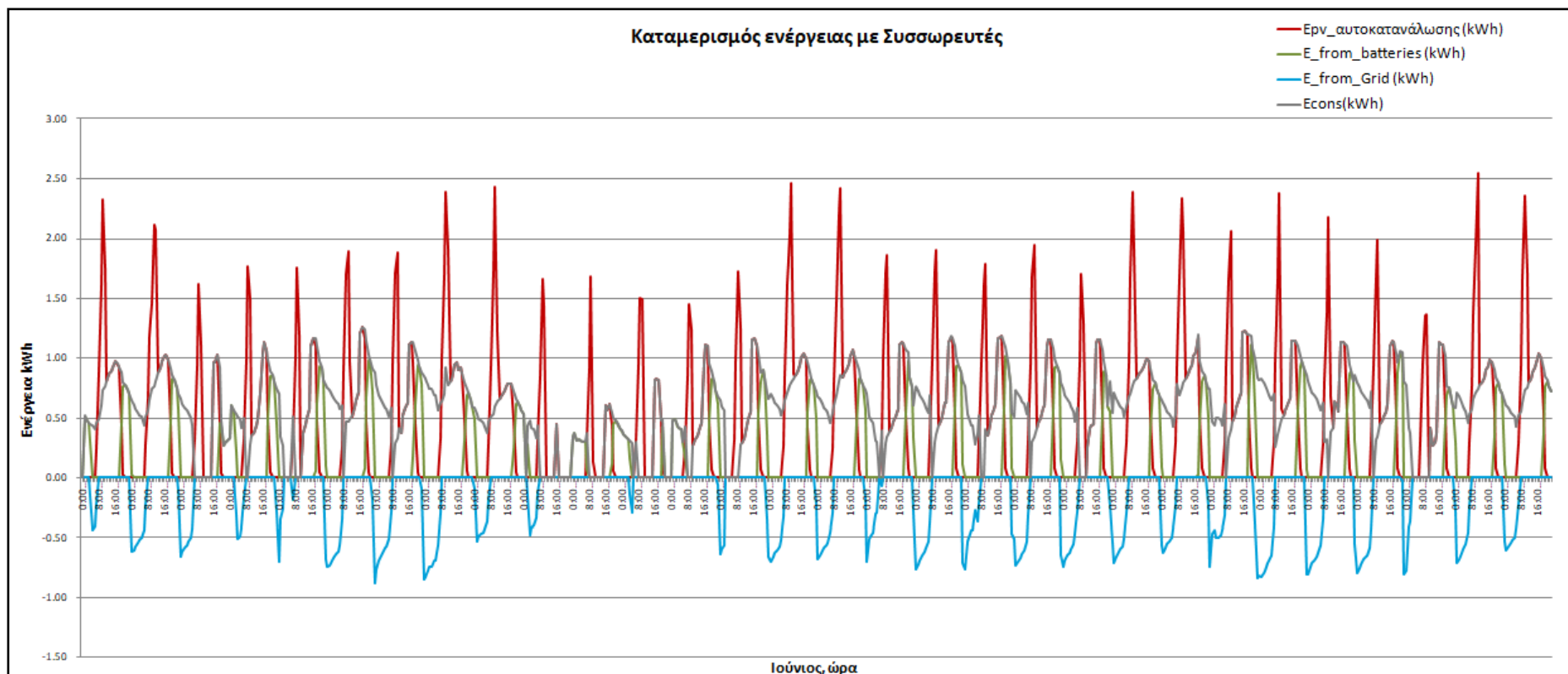
Η προσθήκη συσσωρευτών επιβεβαιώνει τον τεχνικό ρόλο της αποθήκευσης στο πλαίσιο του net-billing. Συγκεκριμένα, η αποθήκευση αυξάνει την αξιοποίηση της Φ/Β παραγωγής εντός της κατοικίας και μειώνει την ανάγκη εισαγωγής ενέργειας από το δίκτυο. Ωστόσο, η τεχνική αυτή βελτίωση δεν μεταφράζεται αυτομάτως σε οικονομική βιωσιμότητα. Η τελική αξιολόγηση του σεναρίου με συσσωρευτές πρέπει να γίνει σε συνδυασμό με το πρόσθετο αρχικό κόστος, το οποίο επηρεάζει αρνητικά τους χρηματοοικονομικούς δείκτες.



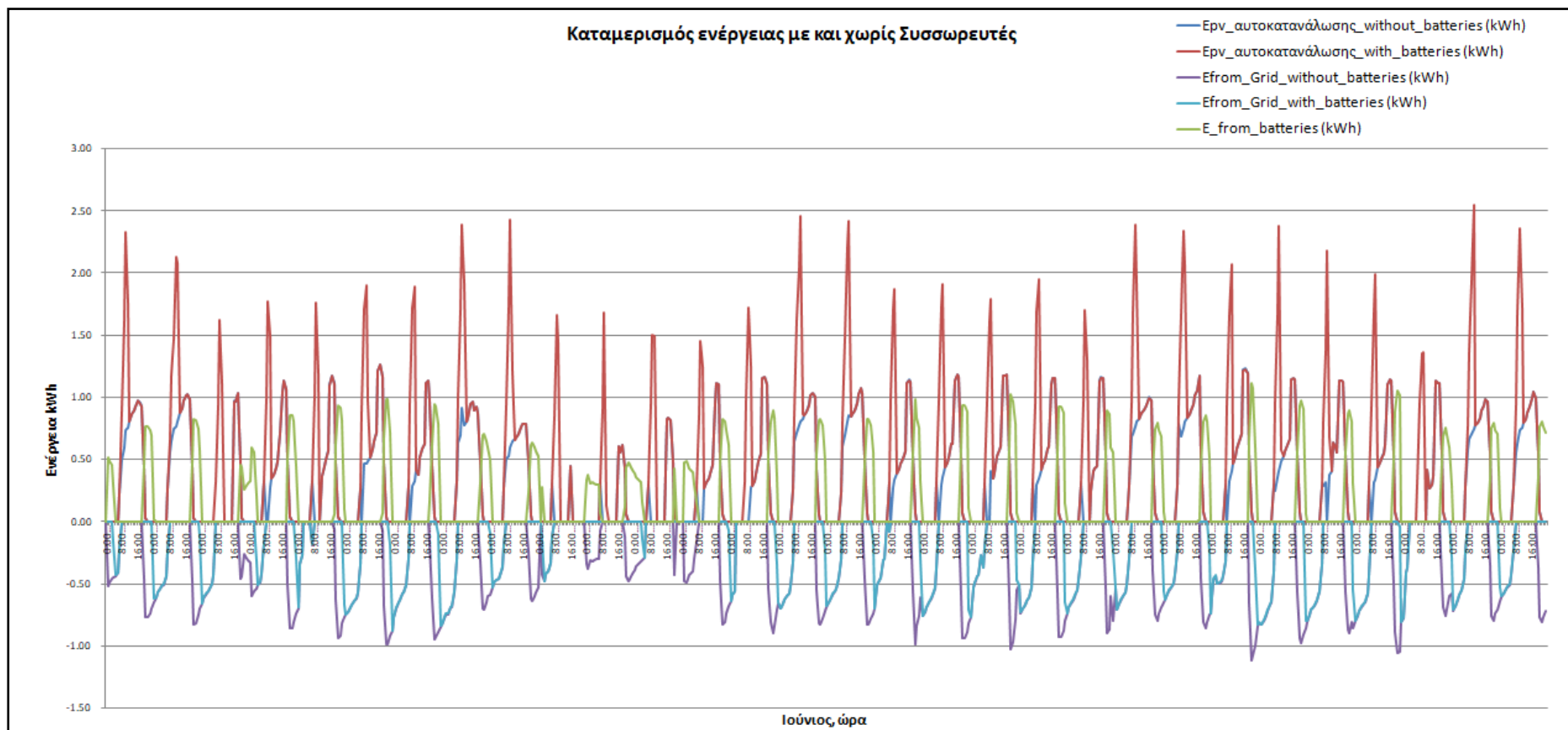
Διάγραμμα 15 Καταμερισμός ενέργειας μηνός Ιανουαρίου με συσσωρευτές



Διάγραμμα 16 Σύγκριση καταμερισμού ενέργειας μηνός Ιανουαρίου με και χωρίς συσσωρευτές



Διάγραμμα 17 Καταμερισμός ενέργειας μηνός Ιουνίου με συσσωρευτές



Διάγραμμα 18 Σύγκριση καταμερισμού ενέργειας μηνός Ιουνίου με και χωρίς συσσωρευτές

6.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων τεχνοοικονομικής μελέτης

Σε τεχνοοικονομικό επίπεδο η εγκατάσταση μόνο της φ/β συστοιχίας παρουσιάζει μεγαλύτερη βιωσιμότητα σε όρους επένδυσης οικονομικών κεφαλαίων σε σχέση με την εγκατάσταση και των συσσωρευτών. Από τον πίνακα 21 παρατηρείται αρχικά ότι όλοι οι τεχνοοικονομικοί δείκτες αξιολόγησης της επένδυσης είναι ευνοϊκότεροι στην περίπτωση χωρίς συσσωρευτές. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης αλλά και η καθαρή παρούσα αξία αποδίδουν το βιώσιμο χαρακτήρα στην επένδυση ενώ αντιθέτως η επένδυση με συσσωρευτές έχει Ε.Π.Α. σε έτη πέραν των ετών αξιολόγησης όπως και το Κ.Π.Α., με αρνητικό πρόσημο, δείχνει ότι το κεφάλαιο θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί για κάποια άλλη επένδυση και όχι για αυτήν.

Σύγκριση Τεχνοοικονομικών Δεικτών		
Τεχνοοικονομικοί Δείκτες	Με Συσσωρευτές	Χωρίς Συσσωρευτές
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8.44%	12.62%
Παρούσα Αξία Κόστους	7,423.68 €	4,370.15 €
Παρούσα Αξία Ωφέλους	6,524.20 €	5,028.02 €
Λόγος Ωφέλους/Κόστους	0.88	1.15
Περίοδος Επανεξίσραξης	11.66	9.78
Έντοκος Περίοδος Αποπληρωμής (Ε.Π.Α.)	25.50	17.39
Κ.Π.Α.	-888.34 €	664.59 €

Πίνακας 21 Σύγκριση Τεχνοοικονομικών Δεικτών

Για τους παραπάνω λόγους πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση των τεχνοοικονομικών αποτελεσμάτων της επένδυσης με συσσωρευτές διερευνώντας οικονομικούς όρους που θα επηρέαζαν την επένδυση και θα μπορούσαν να αλλάξουν το αποτέλεσμα της βιωσιμότητάς της.

Οι δοκιμές που έγιναν περιλαμβάνουν τη μεταβολή δύο εκ των τεχνοοικονομικών παραμέτρων :

A) του ποσοστού μεταβολής των τιμών ενέργειας (δ) σε i) $\delta=3\%$, ii) $\delta=4\%$ και iii) $\delta=5\%$ και

B) του προεξοφλητικού επιτοκίου (p) σε i) $p=5\%$ και ii) $p=12\%$.

Όσον αφορά τη μεταβολή των τιμών ενέργειας αυτό κρίθηκε αναγκαίο κάτω από το παρατεταμένο καθεστώς ισχυρών και συχνών μεταβολών τους τα τελευταία χρόνια καθώς μετά την covid εποχή ακολούθησαν γεωπολιτικές αναταραχές με πολύ σημαντική επίπτωση στις τιμές ενέργειας οι οποίες ακόμη και σήμερα δεν έχουν αφήσει περιθώρια οικονομικής σταθερότητας.

Η μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου (p) διερευνήθηκε ως μια παράμετρος η οποία έχει σχέση και με τα επιτόκια δανεισμού, στην περίπτωση που ληφθεί προεξοφλητικό επιτόκιο αυτό του επιτοκίου δανεισμού. Για επιτόκια καταναλωτικών δανείων λήφθηκε $p=12\%$ και επιχειρηματικών δανείων $p=5\%$ (Τράπεζας της Ελλάδος, Ιούνιος 2026).

Θα παρατηρηθεί, λοιπόν, το τεχνοοικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης με συσσωρευτές για τα ποσοστά μεταβολής των τιμών ενέργειας και προεξοφλητικού επιτοκίου που προαναφέρθηκαν τα οποία λόγω των παραπάνω συνθηκών κρίνονται ρεαλιστικά.

Από τον πίνακα 22 φαίνεται η πολύ μεγάλη επιρροή του (δ) καθώς για μεταβολές τιμών ενέργειας στο 4% η επένδυση κρίνεται βιώσιμη σε όλους τους τεχνοοικονομικούς δείκτες της μελέτης.

Επίσης στο διάγραμμα 19 διαφαίνεται και η βελτίωση ως προς το έτος θετικών σωρευτικών καθαρών ταμειακών ροών οι οποίες από τα 11 έτη για $\delta=2\%$ υποχωρούν στα 10 έτη για $\delta=3\%$ και $\delta=4\%$. Για μεταβολές $\delta=5\%$ το έτος θετικών σωρευτικών καθαρών ταμειακών ροών είναι το 9^ο.

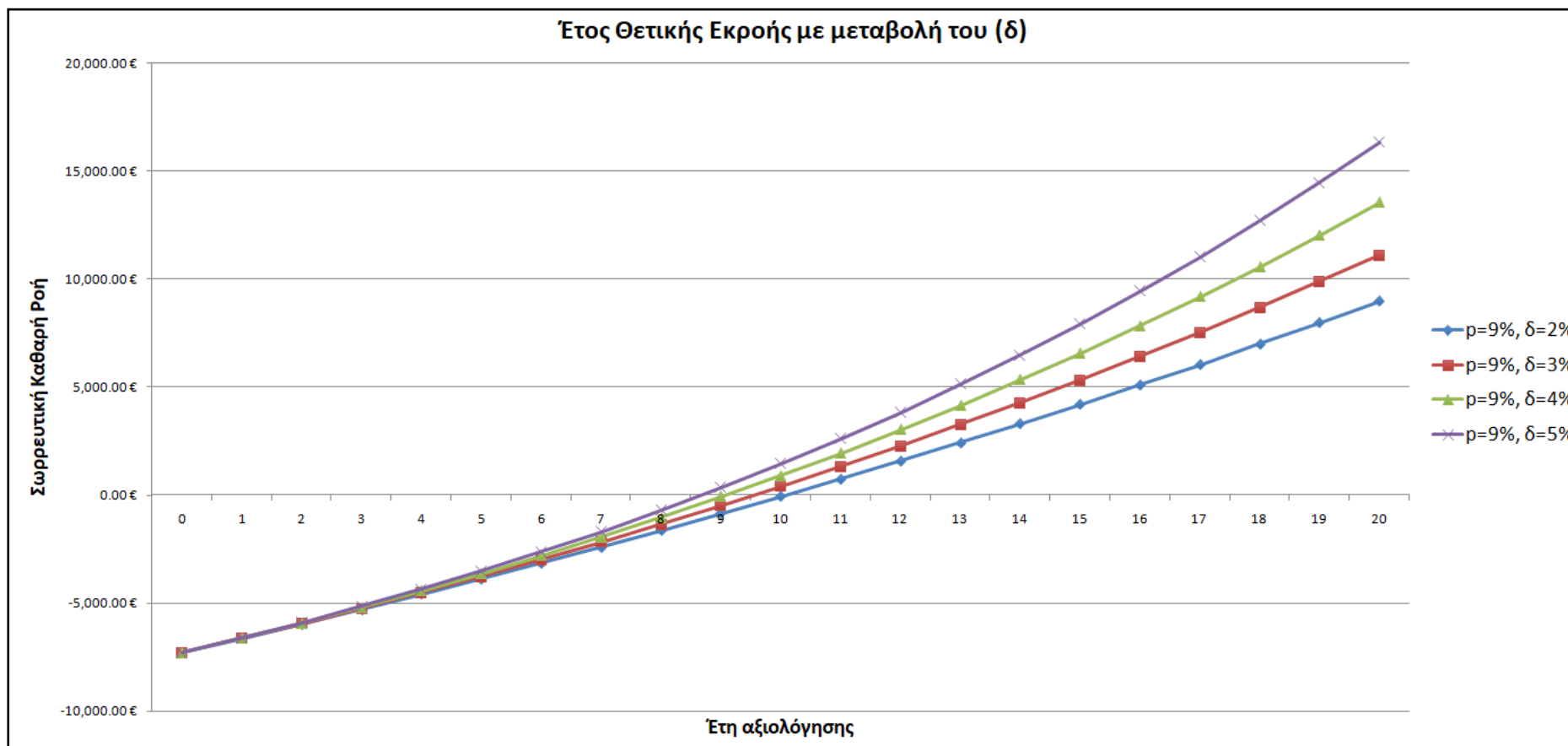
Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή των τιμών ενέργειας (δ)				
Προεξοφλητικό Επιτόκιο $p=9\%$	$\delta=2\%$	$\delta=3\%$	$\delta=4\%$	$\delta=5\%$
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8.44%	9.63%	10.81%	11.98%
Παρούσα Αξία Κόστους	7,423.68 €	7,423.68 €	7,423.68 €	7,423.68 €
Παρούσα Αξία Ωφέλους	6,524.20 €	7,154.76 €	7,858.18 €	8,643.96 €
Λόγος Ωφέλους/Κόστους	0.88	0.96	1.06	1.16
Περίοδος Επανείσπραξης	11.66	11.66	11.66	11.66
Έντοκος Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ)	25.50	21.23	18.62	16.79
Κ.Π.Α.	-888.34 €	-257.78 €	445.64 €	1,231.42 €

Πίνακας 22 Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή των τιμών ενέργειας (δ)

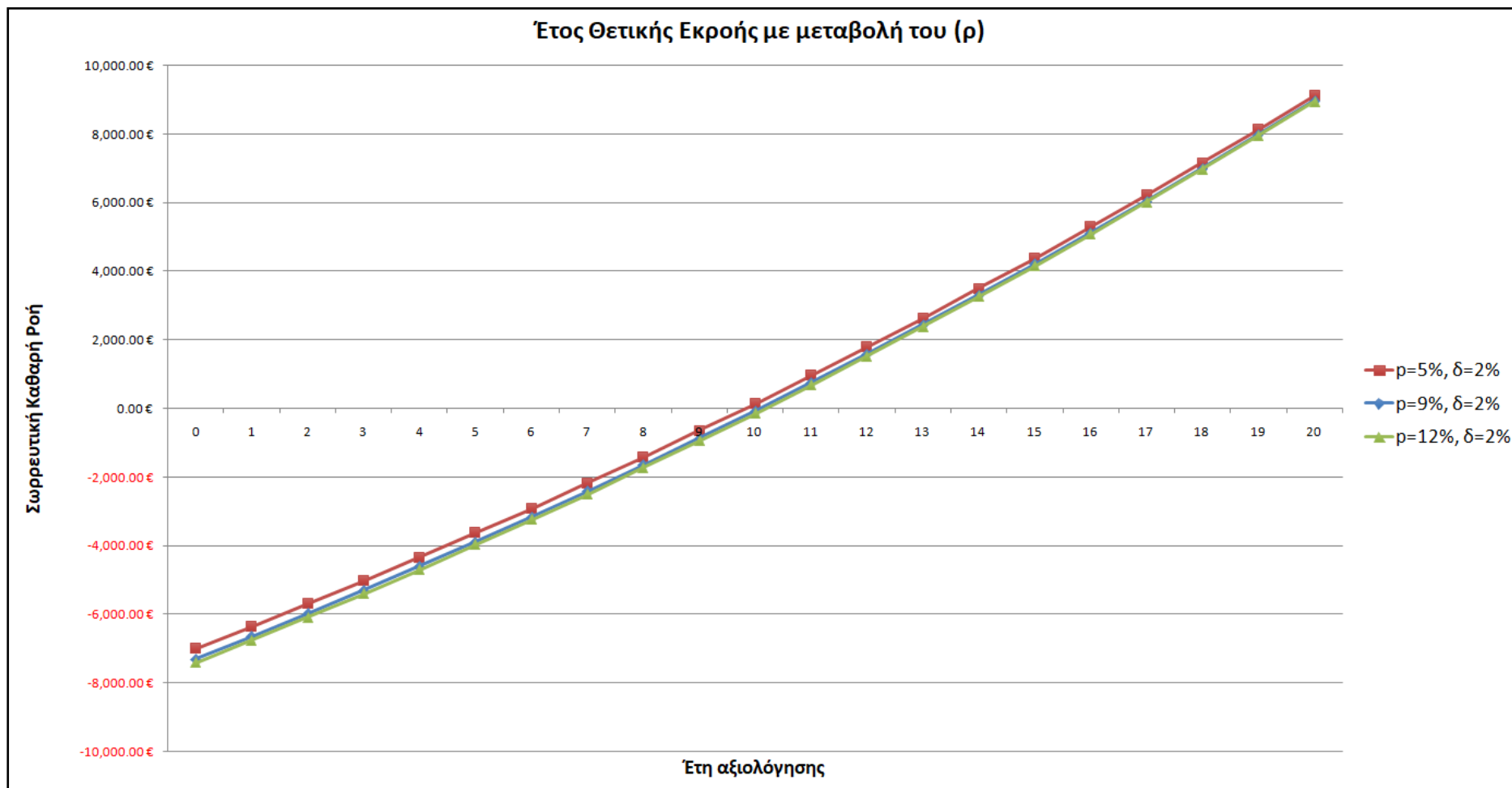
Στην περίπτωση μεταβολής του προεξοφλητικού επιτοκίου p , όπως δείχνουν τα αποτελέσματα του πίνακα 23, για επιτόκια δανεισμού επιχειρηματικών δανείων $p=5\%$ η επένδυση κρίνεται βιώσιμη σε τεχνοοικονομικούς όρους. Ωστόσο στην περίπτωση δανεισμού με επιτόκια καταναλωτικών δανείων $p=12\%$ τα αποτελέσματα επιβαρύνονται κρίνοντας την επένδυση απολύτως μη βιώσιμη. Το έτος επανείσπραξης και σωρευτικών καθαρών ταμειακών ροών από το διάγραμμα 20, παραμένουν στα 10 έτη περίπου, ωστόσο το Ε.Π.Α. και το Κ.Π.Α. μεταβάλλονται χαρακτηριστικά και καθορίζουν τη βιωσιμότητα και αξιολόγηση της επένδυσης ως συμφέρουσα ή μη.

Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου (p)			
Μεταβολή Τιμών Ενέργειας ($\delta=2\%$)	$p=5\%$	$p=9\%$	$p=12\%$
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8.84%	8.44%	8.32%
Παρούσα Αξία Κόστους	7,272.06 €	7,423.68 €	7,480.80 €
Παρούσα Αξία Ωφέλους	9,486.51 €	6,524.20 €	5,107.31 €
Λόγος Ωφέλους/Κόστους	1.30	0.88	0.68
Περίοδος Επανείσπραξης	11.44	11.66	11.70
Έντοκος Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ)	14.50	25.50	null
Κ.Π.Α.	2,228.02 €	-888.34 €	-2,365.09 €

Πίνακας 23 Σύγκριση Δεικτών με μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου (p)



Διάγραμμα 19 Έτος θετικής εκροής σωρευτικών ταμειακών ροών με μεταβολή του δ



Διάγραμμα 20 Έτος θετικής εκροής σωρευτικών ταμειακών ροών με μεταβολή του ρ

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Από την τεchnοοικονομική ανάλυση προκύπτει ότι, υπό τις βασικές παραδοχές της εργασίας, η εγκατάσταση Φ/Β συστοιχίας σε σύζευξη με αντλία θερμότητας μπορεί να αποτελέσει οικονομικά βιώσιμη λύση για κατοικία στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης. Το σενάριο χωρίς συσσωρευτές εμφανίζει θετική ΚΠΑ, IRR υψηλότερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο και μικρότερη έντοκη περίοδο αποπληρωμής σε σχέση με το σενάριο αποθήκευσης. Αντίθετα, η προσθήκη συσσωρευτών βελτιώνει σημαντικά τους ενεργειακούς δείκτες, αυξάνοντας την αυτοκατανάλωση και τη μείωση εισαγωγής ενέργειας από το δίκτυο, αλλά επιβαρύνει την οικονομική απόδοση λόγω του αυξημένου αρχικού κόστους.

Η μελέτη του συστήματος συμφωνεί με την εργασία των Trela & Dubel (2022) για τη βιωσιμότητα της σύζευξης Α/Θ με Φ/Β στην οποία η αυξανόμενη παροχή φωτοβολταϊκής ενέργειας από τις στέγες του δικτύου δεν συγχρονίζεται κατάλληλα με τη ζήτηση ενέργειας, κάτι που αποτυπώθηκε σε σημαντικό βαθμό στην περίπτωση της θέρμανσης του χώρου. Αντιστοίχως τα συμπεράσματα των Liu et al. (2019), Wang et al. (2020) και άλλων συγκλίνουν με τα αποτελέσματα της παρούσας στο ότι η σύζευξη των Α/Θ με συστήματα ΑΠΕ επηρεάζονται από το φορτίο που έχει να αντιμετωπίσει η Α/Θ.

Όπως και σε πρόσφατη μελέτη των Skandalos & Karamanis (2025) η ωριαία αντιστοίχιση φορτίου αποκάλυψε περιορισμούς στην αυτάρκεια σε πραγματικό χρόνο χωρίς αποθήκευση, έτσι και στην παρούσα εργασία οι δείκτες ιδιοκατανάλωσης SCR, αυτονομίας SSR και GIR βελτιώθηκαν σημαντικά με την εγκατάσταση συσσωρευτών.

Όπως και στην εργασία των Schreurs et al. (2021) για κατοικίες στη Βιέννη της Αυστρίας το σχήμα PV+ASHP ακόμη και με χαμηλή τιμή επιδότησης στα 0,077€/kWh παραμένει κερδοφόρα όπως και στη δική μας περίπτωση.

Ωστόσο σε όρους χρήματος τα χρηματοοικονομικά μεγέθη δεν επιβεβαίωσαν τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης των συσσωρευτών. Η βιωσιμότητα επιτεύχθηκε όμως για την περίπτωση χαμηλού επιτοκίου προεξόφλησης ή για την περίπτωση μεγάλων διακυμάνσεων των τιμών ενέργειας. Η μελλοντική μείωση του κόστους συσσωρευτών ή η

αλλαγή των εγγυήσεων / διάρκειας ζωής τους μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την οικονομική εικόνα του σεναρίου με αποθήκευση. Για τον λόγο αυτό, τα συμπεράσματα για τους συσσωρευτές πρέπει να συνδέονται με το κόστος που υιοθετήθηκε στην παρούσα ανάλυση.

Το κρίσιμο που προκύπτει από τον αναλυτικό υπολογισμό που έγινε με την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού εργαλείου, το οποίο αναπτύχθηκε για την εκπόνηση της εργασίας, για το σύνολο της τεχνοοικονομικής ανάλυσης είναι η μεγάλη επιρροή που προκύπτει από την ύπαρξη ή μη φορτίου για να καλυφθεί από την παραγόμενη ενέργεια του φ/β. Πρέπει λοιπόν να λαμβάνεται υπόψη η χρήση ή μη της παραμέτρου της παρουσίας των χρηστών στην απαίτηση ενέργειας από την Α/Θ καθώς σε αυτό τείνει να βασιστεί η κατηγορία Α των αυτοματισμών κατά ΚΕΝΑΚ.

Βασικός περιορισμός της παρούσας εργασίας είναι ότι τα ωριαία φορτία θέρμανσης και ψύξης δεν βαθμονομήθηκαν με μετρημένα δεδομένα λειτουργίας της υπό μελέτη κατοικίας. Προήλθαν από προγενέστερη μελέτη και προσαρμόστηκαν με αναγωγή στο συγκεκριμένο κτήριο. Παρά τον περιορισμό αυτό, η αξιοπιστία των βασικών συμπερασμάτων κρίνεται ικανοποιητική, διότι η ανάλυση στηρίζεται σε συγκριτική αξιολόγηση σεναρίων με κοινό φορτίο αναφοράς. Έτσι, οι σχετικές διαφοροποιήσεις μεταξύ Φ/Β χωρίς αποθήκευση, Φ/Β με αποθήκευση και υπερδιαστασιολογημένου Φ/Β παραμένουν ουσιαστικές για την αξιολόγηση της επίδρασης του ταυτοχρονισμού.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία στηρίζεται σε συγκεκριμένο σύνολο τεχνικών και οικονομικών παραδοχών. Τα ωριαία φορτία θέρμανσης και ψύξης προέρχονται από προγενέστερη μελέτη και προσαρμόζονται στο υπό μελέτη κτήριο μέσω αναγωγής, χωρίς πλήρη βαθμονόμηση με μετρημένα δεδομένα της συγκεκριμένης κατοικίας. Επιπλέον, η ανάλυση επικεντρώνεται στο φορτίο της αντλίας θερμότητας και δεν περιλαμβάνει το σύνολο των λοιπών ηλεκτρικών καταναλώσεων της κατοικίας. Για την οικονομική αξιολόγηση χρησιμοποιούνται σταθερές τιμές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και συγκεκριμένες παραδοχές κόστους Φ/Β και συσσωρευτών. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, τα αποτελέσματα κρίνονται κατάλληλα για συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων, καθώς όλα εξετάζονται με κοινό φορτίο αναφοράς και ενιαίο υπολογιστικό πλαίσιο. Συνεπώς, τα συμπεράσματα είναι αξιόπιστα ως προς τη σχετική κατάταξη των

επιλογών και την ανάδειξη του ρόλου του ταυτοχρονισμού, της αποθήκευσης και της διαφοροποίησης μεταξύ τιμής αγοράς και τιμής πώλησης ενέργειας.

Σε επόμενες μελέτες θα μπορούσαν να διερευνηθούν πλήθος άλλων παραμέτρων ή μεταβλητών οι οποίες ενδεχομένως να επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των δύο περιπτώσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται η διερεύνηση της βιωσιμότητας αν δεν ληφθεί υπόψη η παρουσία χρηστών για τη θέση του θερμοστάτη, άρα διαφορετικά ωριαία φορτία. Περαιτέρω βελτίωση της μεθοδολογίας θα μπορούσε να περιλαμβάνει χρήση ωριαίας καμπύλης COP / EER της Α/Θ, ώστε να συνδεθεί ακριβέστερα η ηλεκτρική κατανάλωση με τις εξωτερικές θερμοκρασίες και τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Al-Falahat, A. M., Qadourah, J. A., Alwashdeh, S. S., khater, R., Qatlama, Z., Alddibs, E., & Noor, M. (2022). Energy performance and economics assessments of a photovoltaic-heat pump system. *Results in Engineering*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100324>
- Andre, P., & Lebrun, J. (2013). *Heat Pumping and Reversible Air Conditioning*.
- Baggio, P., Bee, E., & Prada, A. (2018). Demand-side management of air-source heat pump and photovoltaic systems for heating applications in the italian context. *Environments - MDPI*, 5(12), 1–12. <https://doi.org/10.3390/environments5120132>
- Baniasadi, A., Habibi, D., Al-Saedi, W., Masoum, M. A. S., Das, C. K., & Mousavi, N. (2020). Optimal sizing design and operation of electrical and thermal energy storage systems in smart buildings. *Journal of Energy Storage*, 28, 101186. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2019.101186>
- Bellos, E., Tzivanidis, C., Moschos, K., & Antonopoulos, K. A. (2016). Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. *Energy Conversion and Management*, 120, 306–319. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.004>
- Benalcazar, P., Kalka, M., & Kamiński, J. (2024). Transitioning from net-metering to net-billing: A model-based analysis for Poland. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104073>
- Deguenon, L., Yamegueu, D., Moussa kadri, S., & Gomna, A. (2023). Overcoming the challenges of integrating variable renewable energy to the grid: A comprehensive review of electrochemical battery storage systems. In *Journal of Power Sources* (Vol. 580). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233343>
- del Pero, C., Aste, N., Paksoy, H., Haghighat, F., Grillo, S., & Leonforte, F. (2018). Energy storage key performance indicators for building application. *Sustainable Cities and Society*, 40, 54–65. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.01.052>

- Diwania, S., Agrawal, S., Siddiqui, A. S., & Singh, S. (2020). Photovoltaic–thermal (PV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 11(1), 33–54. <https://doi.org/10.1007/s40095-019-00327-y>
- Fang, Z., Shek, J. K. H., & Sun, W. (2025). A review of grid-connected hybrid energy storage systems: Sizing configurations, control strategies, and future directions. In *Journal of Energy Storage* (Vol. 118). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.116226>
- Guo, S., Ren, F., Wei, Z., & Zhai, X. (2024). A multi-objective collaborative planning method for a PV-powered hybrid energy system considering source-load matching. *Energy Conversion and Management*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118848>
- Jasiński, J., Kozakiewicz, M., & Sołtysik, M. (2024). Analysis of the Economic Soundness and Viability of Migrating from Net Billing to Net Metering Using Energy Cooperatives. *Energies*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/en17061330>
- Jiao, X., Wang, J., Xu, Z., Han, X., Wang, J., Xu, D., Xu, G., Li, K., Zhang, J., & Jiao, Q. (2024). Integrating energy systems for zero-carbon residential buildings: a case study on design and performance. *Oxford Open Energy*, 3. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiae013>
- Kamel, R. S., Fung, A. S., & Dash, P. R. H. (2015). Solar systems and their integration with heat pumps: A review. *Energy and Buildings*, 87, 395–412. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.030>
- Lange, C., Rueß, A., Nuß, A., Öchsner, R., & März, M. (2020). Dimensioning battery energy storage systems for peak shaving based on a real-time control algorithm. *Applied Energy*, 280, 115993. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.115993>
- Li, B., Liu, Z., Wu, Y., Wang, P., Liu, R., & Zhang, L. (2023). Review on photovoltaic with battery energy storage system for power supply to buildings: Challenges and opportunities. *Journal of Energy Storage*, 61, 106763. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2023.106763>

- Li, B., Liu, Z., Zheng, Y., Xie, H., & Zhang, L. (2024). Economy and energy flexibility optimization of the photovoltaic heat pump system with thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113526>
- Liu, J., Liu, Z., Wu, Y., Chen, X., Xiao, H., & Zhang, L. (2022). Impact of climate on photovoltaic battery energy storage system optimization. *Renewable Energy*, 191, 625–638. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.04.082>
- Liu, L., Liu, W., Yao, J., Jia, T., Zhao, Y., & Dai, Y. (2024). Life cycle energy, economic, and environmental analysis for the direct-expansion photovoltaic-thermal heat pump system in China. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139730. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.139730>
- Liu, Z., Liu, Y., He, B.-J., Xu, W., Jin, G., & Zhang, X. (2019). Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 329–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.023>
- Mascherbauer, P., Martínez, M., Mateo, C., Yu, S., & Kranzl, L. (2025). Analyzing the impact of heating electrification and prosumaging on the future distribution grid costs. *Applied Energy*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125563>
- Nadeem, F., Hussain, S. M. S., Tiwari, P. K., Goswami, A. K., & Ustun, T. S. (2019). Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impacts on Future Power Systems. *IEEE Access*, 7, 4555–4585. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2888497>
- Neugebauer, M., d'Obyrn, J., & Sołowiej, P. (2024). Economic Analysis of Profitability of Using Energy Storage with Photovoltaic Installation in Conditions of Northeast Poland. *Energies*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/en17133075>
- Pallis, P., Gkonis, N., Varvagiannis, E., Braimakis, K., Karellas, S., Katsaros, M., & Vourliotis, P. (2019). Cost effectiveness assessment and beyond: A study on energy efficiency interventions in Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 182, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.024>
- Pallis, P., Gkonis, N., Varvagiannis, E., Braimakis, K., Karellas, S., Katsaros, M., Vourliotis, P., & Sarafianos, D. (2019). Towards NZEB in Greece: A comparative study

between cost optimality and energy efficiency for newly constructed residential buildings. *Energy and Buildings*, 198, 115–137. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.06.005>

Schreurs, T., Madani, H., Zottl, A., Sommerfeldt, N., & Zucker, G. (2021). Techno-economic analysis of combined heat pump and solar PV system for multi-family houses: An Austrian case study. *Energy Strategy Reviews*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100666>

Skandalos, N., & Karamanis, D. (2025). Net-zero energy communities at Local Climate Zones: integrating photovoltaics and energy sharing for a social housing neighborhood. *Energy, Ecology and Environment*, 10(3), 352–369. <https://doi.org/10.1007/s40974-025-00354-y>

Stamatellos, G., Zogou, O., & Stamatelos, A. (2021). Energy performance optimization of a house with grid-connected rooftop pv installation and air source heat pump. *Energies*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/en14030740>

Talavera, D.L., Nofuentes, G. and Aguilera, J. (2010). *The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis*. *Renewable Energy*, 35(1), pp. 101–111. DOI: 10.1016/j.renene.2009.07.006.

Trela, M., & Dubel, A. (2022). Net-metering vs. Net-billing from the investors perspective— impacts of changes in res financing in poland on the profitability of a joint photovoltaic panels and heat pump system. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010227>

Wang, X., Xia, L., Bales, C., Zhang, X., Copertaro, B., Pan, S., & Wu, J. (2020). A systematic review of recent air source heat pump (ASHP) systems assisted by solar thermal, photovoltaic and photovoltaic/thermal sources. *Renewable Energy*, 146, 2472–2487. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.096>

Wang, Y., Quan, Z., Zhao, Y., Rosengarten, G., & Mojiri, A. (2025). Techno economic analysis of integrating photovoltaic-thermal systems in ground-source heat pumps for heating-dominated regions. *Applied Energy*, 377. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124677>

Yao, Z., Li, R., & Wei, W. (2025). Household hybrid renewable energy system considering environmental footprint and economic viability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 118, 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.03.192>

Αλ Κατσαπρακάκης Μύρων Μονιάκης Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Δ., & Ενεργειακών Συστημάτων ΤΕΙ Κρήτης, Σ. (n.d.). *Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός*. www.kallipos.gr

<https://ypen.gov.gr/ypegrafi-i-ypourgiki-apofasi-gia-tin-aftokatanalosi-energeias-net-billing/>

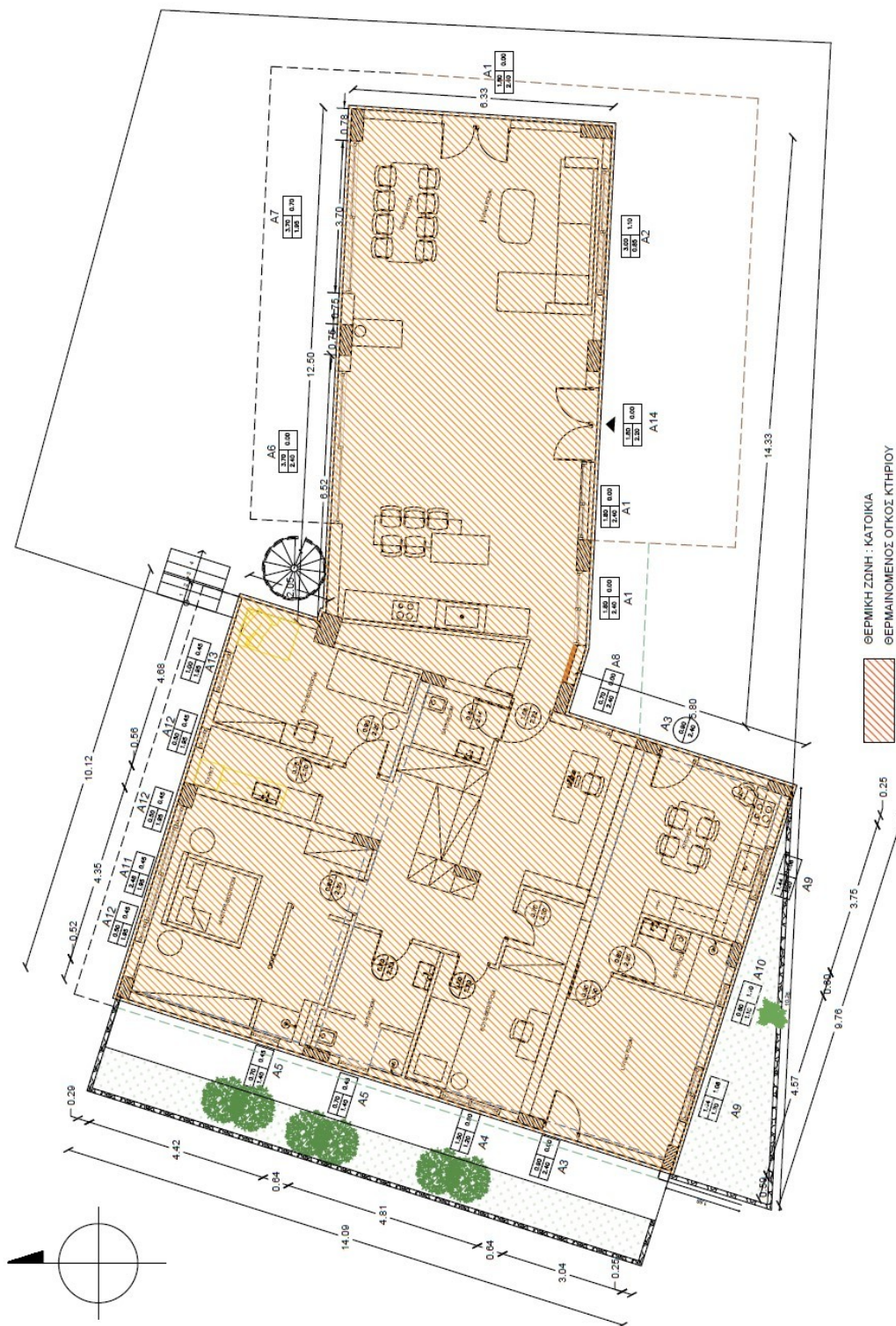
<https://deddie.gr/media>

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

<https://www.bankofgreece.gr/enimerosi/grafeio-typoy/anazhthsh-enhmerwsewn/enhmerwseis?announcement=d9460bb8-53ca-404c-8a15-5ccb6547c275>

Παράρτημα Α: Σχέδια



Εικόνα 8 Κάτοψη εξεταζόμενου κτηρίου

Παράρτημα Β: Εικόνες



Εικόνα 9 Βόρεια Όψη – Λήψη ΒΑ



Εικόνα 10 Βόρεια Όψη – Λήψη ΒΔ



Εικόνα 11 Νότια Όψη – Λήψη ΝΔ



Εικόνα 12 Νότια Όψη – Λήψη ΝΑ



Εικόνα 13 Δυτική Όψη

Παράρτημα Γ: Στιγμιότυπα Υπολογιστικού Εργαλείου

SCOP =	4,41	SEER =	3,50				ηis =	0,955	ηem,t =	0,918	RTE	0,92	SOCmin	SOCmax	Eusable (kWh)	Ισχύς Βοηθ. Συστ. (kW)	Εμβ. Ζώνης (m2)			
Πλήθος PV =	8,00	Αρνητ. (m2) =	2,58				Prpv(kWp/τεμ)	0,57	No (kWp)	4,56	Battery max (kWh)	5,00	1,00	4,75	3,75	0,24	228,74			
Ημερομηνία	Ωρα	Μ.Ο. Προσπίπτουσα Ακτινοβολία (W/m2) slope=15, Az=0 2019-2023	Ζήτηση Ενέργειας Θέρμανσης Qh,dem (kWh)	Ζήτηση Ενέργειας Ψύξης Qc,dem (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Θέρμανσης Eh,cons (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Ψύξης Ec,cons (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Econs (kWh)	Αποδιδόμενη Ενέργεια Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ (kWh)	Ελλειμματικό Ισοζύγιο Ενέργειας (kWh)<0	Περίσσεια Ενέργειας σε 1h (kWh)>0	Σωρευτική Περίσσεια Ενέργειας σε 1h (kWh) στους Συσσωρευτές	Αποθήκευση Ενέργειας σε Συσσωρευτές (kWh)	Έλλειμμα Ενέργειας σε 1h (kWh)	Σωρευτικό Έλλειμμα Ενέργειας σε 1h (kWh)	Ενέργεια to Grid (kWh)	Κόστος Αγοράς Ενέργειας €	Πώληση Ενέργειας €	Ερν- αυτοκατανάλωσης (kWh)	Ενέργεια Εκφόρτισης Μπαταρίας (kWh)	
31/12	3:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	4:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	5:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	6:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	7:00	0,00	0,296	0,000	0,320	0,000	0,32	0,00	-0,32	0,00	0,00	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,32	
31/12	8:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	9:00	96,55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,34	0,00	0,34	0,34	4,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,34	0,00	
31/12	10:00	261,73	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,93	0,00	0,93	1,27	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,062	0,03	0,00	
31/12	11:00	464,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,64	0,00	1,64	2,91	4,75	0,00	0,00	1,64	0,00	0,115	0,00	0,00	
31/12	12:00	547,63	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,94	0,00	1,94	4,85	4,75	0,00	0,00	1,94	0,00	0,136	0,00	0,00	
31/12	13:00	614,45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	2,17	0,00	2,17	7,02	4,75	0,00	0,00	2,17	0,00	0,152	0,00	0,00	
31/12	14:00	450,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,59	0,00	1,59	8,61	4,75	0,00	0,00	1,59	0,00	0,111	0,00	0,00	
31/12	15:00	422,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,49	0,00	1,49	10,11	4,75	0,00	0,00	1,49	0,00	0,105	0,00	0,00	
31/12	16:00	270,24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,96	0,00	0,96	11,06	4,75	0,00	0,00	0,96	0,00	0,067	0,00	0,00	
31/12	17:00	138,94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,49	0,00	0,49	11,56	4,75	0,00	0,00	0,49	0,00	0,034	0,00	0,00	
31/12	18:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	19:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	20:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	21:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	22:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
31/12	23:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	
		Ετήσιος Μ.Ο.	Qh,dem_total (kWh)	Qc,dem_total (kWh)	Eh,dem_total (kWh)	Ec,dem_total (kWh)	Econs.total ή Grid_without_PV (kWh)	Eprv_total(kWh)	From_Grid_withPV (kWh)						From Grid_withPV +Batteries (kWh)	Eprv To Grid (kWh)	C_electricity (€)	C_surplus (€)	Eprv - αυτοκατανάλωσης, total (kWh)	
		226,38	2665,70	5639,24	834,12	2881,69	3715,81	6867,16	2354,39						1456,61	4460,71	276,99	312,25	2406,45	
		MAX	17,90	3,39	4,87	1,35	4,87										35,26			
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ																				
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ		7.560,00 €																		
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ		45,60 €																		
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ		45,60 €																		

SCOP =	4,41	SEER =	3,50				ηis =	0,955	ηem,t =	0,918							Ισχύς Βοηθ. Συστ. (kW)	Εμβ. Ζώνης (m2)	
Πλήθος PV =	8,00	Αρν/τεμ.(m2)=	2,58				Prn(kWp/τεμ)	0,57	No (kWp)	4,56							0,24	228,74	
Ημερομηνία	Ωρα	M.O. Προσπίπτουσας Ακτινοβολίας (W/m2) slope=15, Az=0 2019-2023	Ζήτηση Ενέργειας Θέρμανσης Qh,dem (kWh)	Ζήτηση Ενέργειας Ψύξης Qc,dem (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Θέρμανσης Eh,cons (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Ψύξης Ec,cons (kWh)	Απαιτούμενη Ενέργεια Econs (kWh)	Αποδιδόμενη Ενέργεια Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΝ (kWh)	Καθαρό Ισοζύγιο Econs-Prn(kWh)	Περίσσεια Ενέργειας σε 1h (kWh)				Έλλειμμα Ενέργειας σε 1h (kWh)	Σωρευτικό Έλλειμμα Ενέργειας σε 1h (kWh)	Ενέργεια το Grid (kWh)	Κόστος Αγοράς Ενέργειας €	Πώληση Ενέργειας €	Ερν- αυτοκατανάλωσης (kWh)
31/12	9:00	96,55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,34	0,34	0,34				0,00	0,00	0,34	0,00	0,024	0,00
31/12	10:00	261,73	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,93	0,93	0,93				0,00	0,00	0,93	0,00	0,065	0,00
31/12	11:00	464,88	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,64	1,64	1,64				0,00	0,00	1,64	0,00	0,115	0,00
31/12	12:00	547,63	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,94	1,94	1,94				0,00	0,00	1,94	0,00	0,136	0,00
31/12	13:00	614,45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	2,17	2,17	2,17				0,00	0,00	2,17	0,00	0,152	0,00
31/12	14:00	450,32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,59	1,59	1,59				0,00	0,00	1,59	0,00	0,111	0,00
31/12	15:00	422,31	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	1,49	1,49	1,49				0,00	0,00	1,49	0,00	0,105	0,00
31/12	16:00	270,24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,96	0,96	0,96				0,00	0,00	0,96	0,00	0,067	0,00
31/12	17:00	138,94	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,49	0,49	0,49				0,00	0,00	0,49	0,00	0,034	0,00
31/12	18:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
31/12	19:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
31/12	20:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
31/12	21:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
31/12	22:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
31/12	23:00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
		Ετήσιος M.O.	Qh,dem_total (kWh)	Qc,dem_total (kWh)	Eh,dem_total (kWh)	Ec,dem_total (kWh)	Econs_total ή Grid_without_PV (kWh)	Epv_total(kWh)						From_Grid_withPV (kWh)		Epv_Grid (kWh)	C_electricity (€)	C_surplus (€)	Ερν - αυτοκατανάλωσης total (kWh)
		226,38	2665,70	5639,24	834,12	2881,69	3715,81	6867,16						2354,39		5505,74	447,72	385,40	1361,42
																	-62,32		
		MAX	17,90	3,39	4,87	1,35	4,87	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ		4.560,00 €						SCR	SSR	Grid Import Reduction %	Eq.Full.Cycles / year	ΑΠΛΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΓΟΡΟΠΩΛΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ €							
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €		45,60 €						19,83%	36,64%	36,64%	-								
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ €		45,60 €									ΕΤΗ ΖΩΗΣ (6000cycles)								
											-	-62,32							

Εικόνα Π-Γ. 2Στιγμιότυπο υπολογιστικού εργαλείου φ/β συστοιχίας χωρίς συσσωρευτές

Econs,
max (W)

4873,13

ηρν

M.O. [G]
(W/m2)

Pmax,ST
C (Wp)

ηstc (%)

γmp %/C

σγ

σρ

σθ

σδ

0,172

226,377

570

22,32

-0,30%

0,9235

0,95

0,95

0,99

584,789 W/frame

38,9547 W/m2*ηρν

125,10 m2 απαιτούμενα

Charakteristika
Pλαισίου & Inverter

Pmax,STC (Wp)

570

ηstc (%)

22,32

γmp %/C

-0,30%

μείωση απόδοσης
μείωση απόδοσης

1,00%

Μήκος (m)

2,278

Πλάτος (m)

1,134

verter Eur.Eff (%)

97,7

NBJE610

Αρν/τεμ.(m2)

2,58

τεμ.

49

Αρν (m2)

126,6

M.O. [G] (W/m2)

226,38

Pmax,STC (Wp)

570

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
	To (oC) = 13	To (oC) = 13,2	To (oC) = 14,5	To (oC) = 17,6	To (oC) = 21,3	To (oC) = 25,3	To (oC) = 27	To (oC) = 26,9	To (oC) = 24,5	To (oC) = 21,1	To (oC) = 17,7	To (oC) = 14,7
ηstc (%)	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32	22,32
γmp %/C)	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%	-0,30%
σγ	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924	0,924
σρ	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
σθ	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
σδ	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
σα	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
σκ	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Inverter Eur.Eff (%)	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70
ηρν	0,172	0,172	0,171	0,170	0,168	0,165	0,164	0,164	0,166	0,168	0,170	0,171
Ppv (W)	4931											

Επιτόκιο Προεξόφλησης	9,00%																					
Ετήσια Μεταβολή Τιμών Ενέργειας	2,00%																					
Κόστος Πετρελαίου (€/kWh)	0,0000																					
Κόστος Φ.Α (€/kWh)	0,0000																					
Κόστος Ηλεκτρισμού (€/kWh)	0,1902																					
Κόστος Πώλησης Ενέργειας (€/kWh)	0,0700																					
Κόστος Εναλλακτικού Φορέα 2 (€/kWh)	20																					
Ετη αξιολογήσεις	20																					
Καταγραφές Κόστους	Ετος 0	Ετος 1	Ετος 2	Ετος 3	Ετος 4	Ετος 5	Ετος 6	Ετος 7	Ετος 8	Ετος 9	Ετος 10	Ετος 11	Ετος 12	Ετος 13	Ετος 14	Ετος 15	Ετος 16	Ετος 17	Ετος 18	Ετος 19	Ετος 20	
Κόστος Επένδυσης																						
Κόστος Παρέμβασης/Παρέμβασεων	€ 7.288,79	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	€ 14,78	
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας Α/Ο																						
Πετρέλαιο Θέρμανσης																						
Φυσικό Αέριο																						
Ηλεκτρισμός		3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	3.715,81 kWh	
Εναλλακτικός φορέας ενέργειας 1																						
Εναλλακτικός φορέας ενέργειας 2																						
Ετήσια Κόστος Υφιστάμενης Κατάστασης																						
Κόστος Ενέργειας	0,00 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	706,61 €	
Λειτουργικά Κόστος		0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	
Κόστος Συντήρησης		0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας Με PV και Βατเตอรี่																						
Πετρέλαιο Θέρμανσης																						
Φυσικό Αέριο																						
Ηλεκτρισμός		1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	1.456,61 kWh	
Εναλλακτικός φορέας ενέργειας 1																						
Εναλλακτικός φορέας ενέργειας 2																						
Ετήσια Κόστος Μετά από Αναβάθμιση																						
Κόστος Ενέργειας	0,00 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	276,99 €	
Λειτουργικά Κόστος		45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	
Κόστος Συντήρησης		45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	45,60 €	
Σύνολο Ταμειακών Εισοδίων	7.288,79 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	14,78 €	
Καταγραφές Οφελών	Ετος 0	Ετος 1	Ετος 2	Ετος 3	Ετος 4	Ετος 5	Ετος 6	Ετος 7	Ετος 8	Ετος 9	Ετος 10	Ετος 11	Ετος 12	Ετος 13	Ετος 14	Ετος 15	Ετος 16	Ετος 17	Ετος 18	Ετος 19	Ετος 20	
Χρηματοοικονομικά Οφέλη																						
Εξοικονόμηση Ενέργειας + Πώληση Ενέργειας	0,00 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	741,87 €	
	1,00 €	1,02 €	1,04 €	1,06 €	1,08 €	1,10 €	1,13 €	1,15 €	1,17 €	1,20 €	1,22 €	1,24 €	1,27 €	1,29 €	1,32 €	1,35 €	1,37 €	1,40 €	1,43 €	1,46 €	1,49 €	
Εξοικονόμηση Ενέργειας με υπολογισμό της αύξησης των τιμών ενέργειας	0,00 €	756,71 €	771,84 €	787,28 €	803,02 €	819,08 €	835,46 €	852,17 €	869,22 €	886,60 €	904,33 €	922,42 €	940,87 €	959,69 €	978,88 €	998,46 €	1.018,43 €	1.038,79 €	1.059,57 €	1.080,76 €	1.102,38 €	
Ασφαρά Λειτουργικών Κόστους και Κόστους Συντήρησης	0,00 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	-91,20 €	
Σύνολο Ταμειακών Εισοδίων	0,00 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	650,67 €	
Σύνολο Ταμειακών Εισοδίων (συνμ. Μεταβολής τιμών ενέργειας)	0,00 €	665,51 €	680,64 €	696,08 €	711,82 €	727,88 €	744,26 €	760,97 €	778,02 €	795,40 €	813,13 €	831,22 €	849,67 €	868,49 €	887,68 €	907,26 €	927,23 €	947,59 €	968,37 €	989,56 €	1.011,18 €	
Καθαρές Ταμειακές Ροές (συνμ. Μεταβολής τιμών ενέργειας & χωρίς 1η επίδραση)	0,00 €	650,73 €	665,86 €	681,30 €	697,04 €	713,10 €	729,49 €	746,20 €	763,24 €	780,62 €	798,36 €	816,44 €	834,89 €	853,71 €	872,90 €	892,48 €	912,45 €	932,82 €	953,59 €	974,78 €	996,40 €	
Καθαρές Ταμειακές Ροές (συνμ. Μεταβολής τιμών ενέργειας)	7.288,79 €	650,73 €	665,86 €	681,30 €	697,04 €	713,10 €	729,49 €	746,20 €	763,24 €	780,62 €	798,36 €	816,44 €	834,89 €	853,71 €	872,90 €	892,48 €	912,45 €	932,82 €	953,59 €	974,78 €	996,40 €	
Δωροταμειακές Καθαρές Ταμειακές Ροές	7.288,79 €	650,73 €	665,86 €	681,30 €	697,04 €	713,10 €	729,49 €	746,20 €	763,24 €	780,62 €	798,36 €	816,44 €	834,89 €	853,71 €	872,90 €	892,48 €	912,45 €	932,82 €	953,59 €	974,78 €	996,40 €	
Βέλτιστη Εφαρμογή?	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	
	Ετος 0	Ετος 1	Ετος 2	Ετος 3	Ετος 4	Ετος 5	Ετος 6	Ετος 7	Ετος 8	Ετος 9	Ετος 10	Ετος 11	Ετος 12	Ετος 13	Ετος 14	Ετος 15	Ετος 16	Ετος 17	Ετος 18	Ετος 19	Ετος 20	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Καθαρές Ταμειακές Ροές	Αθροισμα Προεξοφλημένων Καθαρών Ταμειακών Ροών	-7.288,79 €	650,73 €	665,86 €	681,30 €	697,04 €	713,10 €	729,49 €	746,20 €	763,24 €	780,62 €	798,36 €	816,44 €	834,89 €	853,71 €	872,90 €	892,48 €	912,45 €	932,82 €	953,59 €	974,78 €	
Συντελεστής Προεξόφλησης	Ταμειακών Ροών	1,000	0,917	0,842	0,772	0,708	0,650	0,596	0,547	0,502	0,460	0,422	0,388	0,356	0,326	0,299	0,275	0,252	0,231	0,212	0,194	
Προεξοφλημένες Ταμειακές Ροές	7.288,79 €	597,08 €	560,44 €	526,09 €	493,80 €	463,87 €	434,97 €	408,19 €	383,04 €	359,82 €	337,23 €	316,40 €	296,83 €	278,46 €	261,21 €	245,02 €	229,82 €	215,55 €	202,16 €	189,59 €	177,78 €	
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8,44%	IRR											</									

Εικόνα Π-Γ. 4Στιγμιότυπο υπολογιστικού εργαλείου τεχνοοικονομικής μελέτης

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.